

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

“Допущено до захисту ”

Зав. кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ О.К. Дідик

“ ____ ” _____ 2024 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему

**«Модернізація системи автоматичного управління
припливно-витяжної вентиляції по каналу
температури»**

**«Upgrade of the automatic control system for supply and
exhaust ventilation via the temperature channel»**

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу, групи АК-23М-2

спеціальності 174 – Автоматизація, комп’ютерно-
інтегровані технології та робототехніка

_____ Тимофіїв А.О.

« _____ » _____ 20 ____ р.

Керівник роботи (проекту)

канд. техн. наук, доцент

_____ Трушаков Д.В.

« _____ » _____ 20 ____ р.

Рецензент

доц. каф. ЕТС та ЕМ, к.т.н

_____ .
« _____ » _____ 20 ____ р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Характеристика об'єкта.....	7
1.1 Область застосування та призначення системи автоматичного управління припливно-витяжної вентиляції по каналу температури.....	7
1.2 Вимоги до системи.....	7
1.3 Технічна характеристика об'єкта автоматизації.....	8
2 Автоматизація процесу підтримування параметрів мікроклімату.....	10
2.1 Дослідження процесу коливання температури та вологості повітря у виробничому приміщенні.....	10
2.2 Параметри, що підлягають контролю.....	17
2.3 Вибір типу регулятора.....	18
3 Обґрунтування та опис обраних проектних рішень.....	20
3.1 Реалізація функцій захисту.....	20
3.1.1 Забезпечення захисту двигунів.....	20
3.1.2 Забезпечення захисту водяного калорифера.....	22
3.2 Реалізація функцій контролю.....	22
3.2.1 Забезпечення контролю засмічення фільтру.....	22
3.2.2 Забезпечення контролю роботи двигуна.....	22
3.2.3 Забезпечення контролю температури води в зворотному трубопроводі.....	23
3.3 Реалізація функцій регулювання.....	23
3.4 Реалізація функцій вимірювання.....	23
3.5 Реалізація функцій управління.....	23
3.6 Опис схеми функціональної.....	23
3.7 Розробка схеми електричної принципової.....	26
3.8 Обґрунтування вибору засобів автоматизації.....	27
3.8.1 Вибір елементів управління.....	27

3.8.1.1 Вибір контролера.....	27
3.8.1.2 Програмування контролера.....	29
3.8.2 Обґрунтування допоміжних елементів управління.....	30
3.8.2.1 Обґрунтування вибору датчиків.....	30
3.8.2.2 Виконавчі механізми і насоси.....	33
3.8.2.3 Обґрунтування вибору регулюючих клапанів.....	35
3.8.2.4 Силові вимикачі.....	35
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність виробу.....	36
4.1 Вихідні дані для розробки САР.....	36
4.2 Принцип регулювання та принцип дії системи.....	38
4.3 Функціональна схема САР.....	38
4.4 Структурна схема САР.....	39
4.5 Передаточні функції розімкнутої та замкнутої систем та характеристичне рівняння.....	40
4.6 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи.....	41
4.6.1 Побудова АФЧХ розімкнутої системи.....	41
4.6.2 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи.....	42
4.6.3 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи.....	43
4.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи.....	43
4.8 Визначення стійкості замкнутої системи і запасів стійкості. Побудова області стійкості.....	44
4.8.1 Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра.....	44
4.8.2 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова.....	46
4.9 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	47
4.10 Побудова перехідного процесу системи.....	48
4.11 Визначення прямих показників якості вихідної системи.....	49

4.12 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої оптимальної за швидкодією системи по вимогам, які пред'явлені до неї.....	50
4.13 Синтез коректуючого пристрою САР за логарифмічними частотними характеристиками.....	52
4.14 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР.....	54
4.15 Визначення прямих показників якості синтезованої системи.....	55
5 Монтаж та обслуговування системи.....	56
5.1 Етапи проведення монтажних робіт.....	56
5.1.1 Монтаж електричних проводок.....	56
5.1.2 Монтаж пультів керування.....	56
5.1.3 Монтаж засобів автоматизації та приладів	57
5.2 Налагоджувальні роботи.....	58
Висновки.....	60
Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів.....	62
Список літератури.....	63
Додатки.....	64

ВСТУП

Автоматизація є одним із головних факторів, що сприяють значному підвищенню продуктивності праці в промисловості. Прискорення цього процесу стає можливим завдяки розвитку новітніх засобів автоматизації, що являють собою складний і багатогранний процес, в якому беруться до уваги як потреби кінцевих споживачів, так і технічні та економічні можливості виробничих підприємств. Врахування цих факторів дозволяє створювати ефективні автоматизовані системи, які оптимізують виробничі процеси, знижують витрати і покращують якість продукції. Основним критерієм для прийняття рішень щодо розробки та впровадження нових технологічних засобів є загальний економічний ефект, який обчислюється з урахуванням витрат на розробку, виробництво та впровадження. Тому для виробництва та виготовлення слід обирати технічні рішення, які забезпечують максимальний економічний ефект [1].

При ретельному дотриманні принципу розробки та впровадження нових засобів, процес їх розвитку можна вважати оптимальним. Однак, через складність та обмежену точність оцінки очікуваного ефекту, на стадії впровадження неможливо точно обґрунтувати оптимальність засобів. Тому єдиним об'єктивним критерієм оптимальності таких технологій стає їх практична експлуатація, яка дає змогу виявити неефективні рішення та вдосконалити ті схеми і конструкції, що відповідають вимогам максимальної економічності.

Використання конвеєрних ліній, машин та автоматичних маніпуляторів з програмованим управлінням дає змогу повністю замінити ручну працю, особливо в умовах важкої та шкідливої роботи. Це дозволяє значно знизити фізичне навантаження на працівників та покращити умови праці. Постійне розширення застосування автоматизації є однією з основних тенденцій розвитку промисловості на сьогоdnішньому етапі, оскільки сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, зменшенню витрат, а також покращенню якості продукції. Автоматизація допомагає забезпечити більш точне, швидке та

безпечне виконання завдань, що особливо важливо в складних і небезпечних умовах праці.

Це завдання пов'язане з проблемою оптимізації проектних рішень, метою яких є створення умов для підвищення ефективності капіталовкладень, забезпечення максимального приросту продукції та скорочення термінів її окупності. Випуск якісної продукції, збільшення продуктивності праці та поліпшення умов праці забезпечуються системами вентиляції та кондиціонування повітря, які створюють оптимальний мікроклімат і сприяють покращенню якості середовища в приміщеннях.

Кондиціонування повітря в житлових і виробничих будівлях обумовлене кількома об'єктивними чинниками: розвитком нових виробництв у галузях електроніки, машинобудування, хімії та інших, що вимагають підтримання конкретних параметрів стану повітря; зростаючими вимогами до умов праці та підвищення продуктивності в гарячих цехах, шахтах та інших подібних умовах; оснащенням підприємств і науково-дослідних установ дорогими приладами та комп'ютерними системами, для нормальної роботи яких необхідно підтримувати стабільну температуру і вологість повітря; а також будівництвом приміщень для тривалого перебування великих груп людей.

У цій випускній кваліфікаційній роботі запропоновано рішення актуальної задачі підтримання заданих параметрів у системі кондиціонування повітря. Основна увага в проекті зосереджена на регулюванні температури, що вимагає аналізу важливості стабільного підтримання цього параметра, вивчення різних підходів до реалізації таких систем, вибору найефективнішого варіанту, розробки функціональної та структурної схем системи, визначення її показників якості, побудови перехідного процесу та синтезу коригувального пристрою.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА

1.1 Область застосування та призначення системи автоматичного управління припливно-витяжної вентиляції по каналу температури

Розроблена система має широкий спектр застосування для підтримки оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях різного призначення. Це дозволяє не тільки покращити умови праці для персоналу, але й створити сприятливі умови для ефективної роботи технологічного обладнання. Зберігання стабільної температури, вологості та інших параметрів мікроклімату допомагає знизити ризики поломок обладнання, підвищити продуктивність праці та зменшити витрати енергії. Завдяки автоматизованому управлінню цією системою, досягається високий рівень точності та енергоефективності, що позитивно впливає на загальну ефективність роботи підприємства.

1.2 Вимоги до системи

Система повинна бути спроектована з використанням як вітчизняного, так і імпортного обладнання, яке відповідає сучасним стандартам якості та надійності. Всі компоненти, обрані для складу системи, повинні бути сертифіковані для застосування в Україні та відповідати чинним нормативним вимогам, забезпечуючи високий рівень безпеки, ефективності та відповідності технічним стандартам. Це гарантує, що система буде працювати надійно, довговічно і відповідно до вимог національних стандартів, що є критично важливим для її успішної експлуатації.

Модернізована система, її експлуатація має відповідати вимогам державних стандартів і СНіПів [3, 4]. Розроблена система повинна базуватися на програмованих контролерах, які будуть встановлені в щитах автоматики та управління (ЩАУ). Щити повинні розміщуватися поблизу відповідного технологічного обладнання. Дискретні датчики в системі повинні мати вихідний

сигнал типу "сухий контакт". Аналогові датчики, що вимірюють технологічні параметри, повинні мати уніфікований електричний сигнал, сумісний для введення в контролер. Приводи виконавчих механізмів повинні керуватися стандартним аналоговим вихідним сигналом контролера 0-10 В. Система повинна забезпечувати повну автоматизацію процесу стабілізації температурних параметрів.

Типовими завданнями при автоматизації технологічного процесу вентиляції повітря є [6]:

- регулювання температури повітря відповідно до заданих значень;
- захист обладнання від перегріву та замерзання за допомогою сигналів від контактних датчиків;
- попереднє прогрівання калорифера перед запуском вентилятора при низьких температурах навколишнього середовища;
- моніторинг роботи вентилятора за сигналами датчика потоку та його вимкнення, зокрема у разі забруднення фільтра;
- переведення в режим ручного керування з місцевих щитів;
- аварійна сигналізація;
- автоматичне відключення установки у разі виникнення аварійної ситуації або спрацювання датчиків сигналізації.

1.3 Технічна характеристика об'єкта автоматизації

У цій магістерській роботі розробляється система управління припливно-витяжною вентиляцією для приміщень. Основною метою є створення ефективної системи управління вентиляцією, яка забезпечить оптимальні умови мікроклімату, а також стане основою для подальшого вдосконалення та впровадження аналогічних систем у різних сферах. Розробка цієї системи дозволить значно підвищити ефективність функціонування вентиляційних установок, забезпечити стабільність параметрів повітря у приміщеннях та зменшити енергетичні витрати, що стане важливим кроком у напрямку автоматизації та модернізації об'єктів. Особливістю цієї роботи є використання

програмованого контролера LOGO! 0BA5 виробництва "Siemens", який ефективно застосовується завдяки низькій вартості та здатності працювати з чутливими елементами LG - Ni 1000 або Pt 100, а також з датчиками, що передають активні сигнали (DC 0...10 В або 4...20 мА). Забезпечення необхідних параметрів повітря, таких як температура та вологість, здійснюється за допомогою комплексної системи кондиціонування, до складу якої входять засоби забору повітря, його підготовки (осушувачі або зволожувачі, фільтри, теплообмінники), вентилятори, дефлектори, жалюзі, а також обладнання для охолодження і тепlopостачання, автоматика, засоби дистанційного керування, контролю та сигналізації [4].

Системи підготовки повітря для громадських і виробничих будівель є частиною комплексних автоматизованих систем управління, які забезпечують підтримку заданих параметрів повітря в приміщеннях, незважаючи на зміни умов навколишнього середовища [4]. Технологічні процеси змінюють склад повітря, тому подача повітря ззовні з заданими параметрами дозволяє зменшити вплив збурень. Оскільки параметри зовнішнього повітря змінюються з часом, перед його подачею в приміщення доцільно обробити його, щоб забезпечити необхідні умови. Процес коригування параметрів повітряного середовища називається кондиціонуванням повітря і включає тепловологісну обробку. У теплу пору року зовнішнє повітря має високу температуру та вологість, тому перед подачею в приміщення його необхідно охолодити та осушити. Взимку ж зовнішнє повітря, яке має низьку температуру і вологість, потребує нагріву та зволоження перед подачею в приміщення.

Сучасні промислові кондиціонери оснащені комплектом пристроїв для різних видів обробки повітря. Підігрів здійснюється за допомогою калориферів, де повітря нагрівається через теплообмінники. Охолодження ж відбувається в контактних або поверхневих охолоджувачах повітря [4]. Сучасна система кондиціонування повинна автоматично підтримувати задані значення вологості, температури, напрямку та швидкості руху повітря, а також контролювати ароматичні запахи, вміст легких і важких іонів, чистоту повітря та барометричний тиск. Комфортні умови для проживання та виробничих процесів можуть бути забезпечені лише при належному контролі всіх цих параметрів [4].

2 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПІДТРИМУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ

2.1 Дослідження процесу коливання температури та вологості повітря у виробничому приміщенні

Мікроклімат виробничих приміщень — це комплекс метеорологічних умов, які впливають на внутрішнє середовище цих приміщень і визначаються взаємодією температури, вологості, швидкості руху повітря та рівня теплового випромінювання. Ці фактори мають прямий вплив на самопочуття та працездатність людини, оскільки можуть створювати комфортні чи незручні умови для її діяльності. Згідно з чинними санітарними нормами, параметри метеорологічних умов робочої зони визначаються на висоті 2 метри від рівня підлоги, що дозволяє отримати точніші дані для оцінки впливу на організм людини.

Оптимальні мікрокліматичні умови — це сукупність таких параметрів внутрішнього середовища, які при тривалому і постійному впливі на людину забезпечують підтримку нормального теплового балансу організму без додаткових зусиль з його боку для терморегуляції. Ці умови сприяють створенню відчуття теплового комфорту, що є важливим фактором для високої працездатності та добробуту людини. Найбільш комфортними для людини є такі параметри мікроклімату: температура повітря в межах 18–20 °С, відносна вологість 40–60%, а швидкість руху повітря не перевищує 0,1–0,2 м/с. Ці показники сприяють оптимальному самопочуттю та продуктивності праці.

При високих температурах та підвищеній вологості існує ризик перегріву тіла, що може призвести до теплового удару. У таких умовах організм намагається охолодити себе, що викликає інтенсивний перерозподіл крові, переміщуючись від внутрішніх органів до шкіри. Це призводить до зміни функціонування серцево-судинної системи: пульс може значно прискоритись, досягнувши 100 ударів на хвилину. Внаслідок цього відбувається активне потовиділення та розширення судин на поверхні шкіри. Фізична активність в

умовах високої температури ще більше навантажує організм, збільшуючи частоту серцебиття, зниження артеріального тиску та прискорення дихання, що може негативно позначитися на загальному стані людини.

При низьких температурах є ризик переохолодження організму, що може спричинити простудні захворювання. В умовах холоду судини, що знаходяться близько до поверхні шкіри, зокрема в м'язах і шкірі рук, ніг та обличчя, звужуються. Це зменшує кровообіг у цих ділянках, що, в свою чергу, призводить до зниження притоку крові до поверхневих тканин. Через це кров стає більш в'язкою, що ще більше погіршує циркуляцію і підвищує ризик виникнення замерзання чи обмороження. У результаті тривалої дії низьких температур організм втрачає здатність ефективно підтримувати нормальну температуру тіла, що може викликати різні порушення здоров'я.

Вологість повітря вимірюється через відносну вологість, яка визначається як співвідношення абсолютної вологості до максимально можливого значення для конкретної температури, виражене у відсотках. При підвищеній вологості повітря процес випаровування вологи з поверхні шкіри та дихальних шляхів значно ускладнюється. Це знижує ефективність терморегуляції організму, що може призвести до зниження працездатності людини, оскільки тіло не в змозі охолоджуватися належним чином. Внаслідок цього людина може відчувати втому, зниження енергії та загальне погіршення самопочуття.

Рух повітря здійснює одночасний термічний та механічний вплив на організм. Мінімальна швидкість повітря, яку людина здатна відчувати, становить 0,2 м/с. Якщо температура повітряних потоків не перевищує 36 °С, організм зазвичай відчуває їх як освіжаючі. Проте при температурі понад 40 °С, повітряні потоки можуть мати гнітюче, навіть виснажливе дію на людину. Значні коливання параметрів мікроклімату, таких як температура та швидкість повітря, можуть порушити механізми терморегуляції організму, тобто здатність підтримувати температуру тіла в межах 36,6-36,9 °С. Це порушення може призвести до перегріву або переохолодження, що негативно впливає на загальний стан і працездатність людини.

З метою встановлення характеру зміни параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні впродовж року записувались дані вимірювальних приладів, встановлених на досліджуваному об'єкті. Зокрема, були отримані покази температури повітря, його вологості та швидкості руху. Заміри проводились до початку робочої зміни, впродовж та після її закінчення. Крім того вимірювання проводились у різні пори року. Значення занотовувались, осереднювались за відповідний сезон і заносились в таблицю. Кінцеві результати вимірювань представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Середні значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у виробничому приміщенні по сезонам року.

Показники	Норма	Сезони року			
		Зима	Весна	Літо	Осінь
Температура, °C	18	15±1	17±2	24±4	18±2
Відносна вологість, %	70	75±3	71±2	70±5	80±2
Швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3

Були також оброблені дані температури, відносної вологості за певні години робочої зміни також у різні сезони року. Результати вимірювань представлені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Середні значення температури, відносної вологості повітря у виробничому приміщенні у години по сезонам року.

Показники зима	Години впродовж доби												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Температура, °C	14	14,1	14,2	14,6	15,2	15,5	16	15,5	14,9	14,8	14,7	14,5	14,3
Відносна вологість, %	72	72	72,5	73	73,5	74	75	75	76	76,5	77	77,5	78

Показники весна	Години впродовж доби												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Температура, °C	15	15,2	15,6	16	16,5	17	18	18,5	19	18,8	17	16,5	15
Відносна вологість, %	69	70	71,5	72	72,5	73	73	72,5	73	72,5	72	71,5	71

Показники літо	Години впродовж доби												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Температура, °C	20	21,2	23	24	25	26	28	28	27	27	26	25	24
Відносна вологість, %	75	74	73,5	72	72,5	70	68	65	66	67	67	67	68

Показники осінь	Години впродовж доби												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Температура, °C	16	16,5	16,8	17	17,5	18,6	19	20	19,8	18,7	17,5	17	16,5
Відносна вологість, %	82	81,7	81,3	81	80	79,5	79	78,5	78	78	79	79,5	80

Отримані дані дали можливість побудувати графіки залежностей температури в приміщенні до початку робочої зміни, впродовж та після її закінчення по сезонах року. Дані були апроксимовані, отримано формули кривих апроксимації, за допомогою засобів Microsoft Excel отримані значення достовірності апроксимації. Отримані графіки наведено на рис. 2.1.

Також побудовані графіки залежностей відносної вологості повітря в приміщенні до початку робочої зміни, впродовж та після її закінчення по сезонах року. Дані були апроксимовані, отримано формули кривих апроксимації, за допомогою засобів Microsoft Excel отримані значення достовірності апроксимації. Отримані графіки наведено на рис. 2.2.

Графіки зміни температури повітря у виробничому приміщенні протягом робочої зміни може бути дуже корисним для кількох цілей:

1. Моніторинг умов праці: Стабільна температура повітря важлива для комфортної роботи персоналу та запобігання перевтоми або теплового стресу. Графік дозволяє стежити за тим, чи не виходить температура за межі оптимального діапазону для здоров'я працівників.

2. Відповідність санітарним вимогам: У багатьох галузях існують нормативи щодо температури в приміщеннях. За допомогою графіка можна оцінити, чи відповідають умови виробництва вимогам безпеки та гігієни праці.

3. Енергозбереження* Аналіз зміни температури може допомогти виявити періоди, коли температура в приміщенні підвищується без необхідності, що може свідчити про надмірне використання опалення або кондиціонування. Це дозволяє оптимізувати енергоспоживання.

4. Визначення необхідності коригування вентиляції або кондиціонування: Якщо температура значно змінюється протягом зміни, це може вказувати на проблеми з вентиляцією або кондиціонуванням. Графік допомагає вчасно виявити такі коливання і коригувати параметри системи.

5. Інформування управлінців та служб безпеки: Для керівників та технічного персоналу графік може бути інструментом для контролю

температурного режиму. Це дозволяє швидше реагувати на проблеми і забезпечувати безпечні умови праці.

6. Аналіз взаємозв'язку з іншими параметрами виробництва: Зміна температури може впливати на якість виготовленої продукції (особливо в хімічних, харчових та інших чутливих до температури процесах). Такий графік допомагає з'ясувати, чи впливає температура на кінцевий результат виробничого процесу.

Загалом, регулярний моніторинг температури допомагає забезпечити безпечні умови праці, підвищити ефективність виробництва і сприяти енергозбереженню.

Графіки зміни відносної вологості повітря у виробничому приміщенні протягом робочої зміни є важливим інструментом для різних аспектів управління виробничими процесами, умовами праці та забезпечення якості продукції. Ось кілька основних застосувань такого графіка:

1. Контроль за умовами праці:

- Здоров'я працівників: Надмірна або занадто низька вологість може спричиняти дискомфорт або навіть здоров'я проблеми, такі як висушування шкіри, респіраторні захворювання, або знижена здатність організму до терморегуляції. Графік допомагає стежити за підтриманням комфортних умов для працівників, що важливо для їхнього здоров'я і продуктивності.

2. Дотримання стандартів гігієни та безпеки:

- Вологість має вплив на безпеку і здоров'я працівників, а також на ефективність вентиляційних та кондиціонувальних систем. Наприклад, у деяких галузях (фармацевтика, харчова промисловість, електроніка) існують суворі вимоги до вологості. За допомогою графіка можна впевнитися, що параметри не перевищують дозвалені межі.

3. Контроль за енергоспоживанням:

- Енергозбереження**: Зміни в вологості можуть впливати на потребу в кондиціонуванні та вентиляції. Знання цих змін дозволяє коригувати

налаштування систем для забезпечення оптимальних умов без зайвих енергетичних витрат.

4. Якість продукції:

- Виготовлення продукції: У багатьох виробничих процесах (наприклад, при роботі з деревом, текстилем, хімічними речовинами) вологість є критичним фактором, що впливає на якість продукції. Зміна вологості може спричиняти деформації матеріалів, корозію, зміну властивостей продукту. Графік дозволяє оперативно реагувати на небажані коливання вологості, що може запобігти дефектам у продукції.

5. Оптимізація технологічних процесів:

- Коригування технологічних параметрів: У певних галузях (наприклад, у виробництві фармацевтичних препаратів, продуктів харчування або в електроніці) відносна вологість має прямий вплив на ефективність технологічних процесів. Використовуючи графік вологості, можна вчасно коригувати параметри для забезпечення стабільних умов виробництва.

6. Запобігання корозії та пошкодженням обладнання:

- У багатьох промислових процесах підвищена вологість може призводити до корозії металевих частин обладнання, зниження ефективності роботи механізмів або навіть поломок. Регулярний моніторинг вологості дозволяє своєчасно виявляти проблеми та вживати заходів для збереження обладнання.

7. Планування обслуговування вентиляційних і кондиціонувальних систем:

- Постійний контроль вологості дозволяє краще планувати технічне обслуговування та налаштування систем вентиляції і кондиціонування, що є важливим для підтримання належної вологості впродовж зміни та збереження оптимальних умов роботи.

8. Підвищення ефективності роботи вентиляції:

- Графік дозволяє виявити моменти, коли система вентиляції чи осушення повітря працює неефективно або є коливання, які можна коригувати для забезпечення більш стабільних умов. Це також допомагає забезпечити належний рівень вологості для специфічних технологічних процесів.

Загалом, використання графіка зміни вологості допомагає не тільки забезпечити комфорт і безпеку для працівників, але й підтримувати стабільні умови для високої якості продукції, а також оптимізувати витрати на енергоспоживання та обслуговування обладнання.

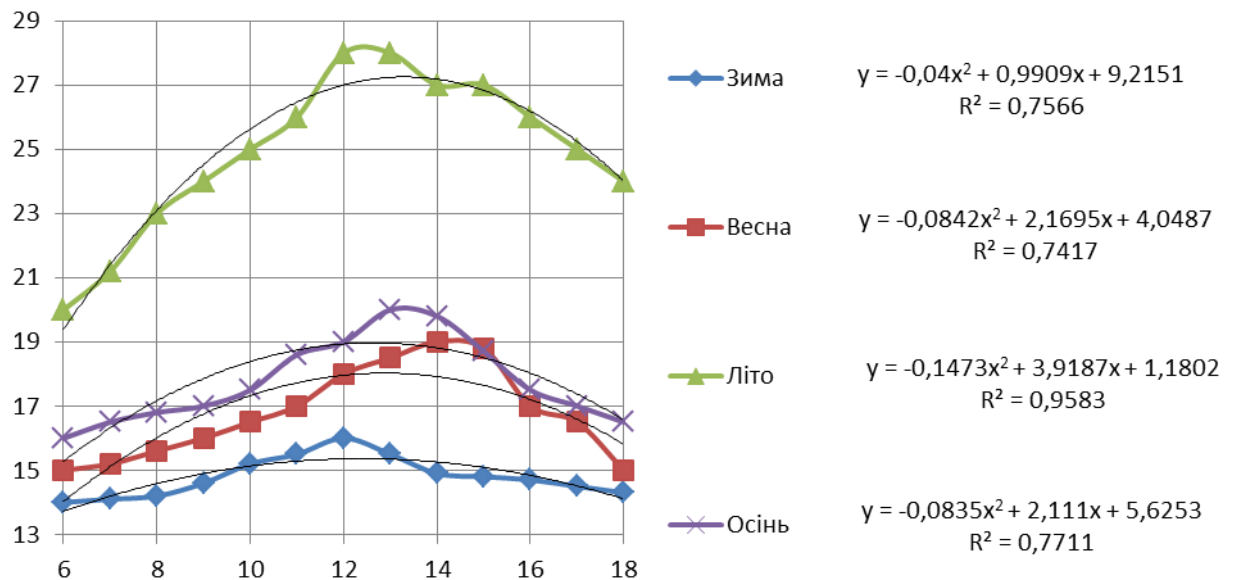


Рисунок 2.1 - Графіки зміни температури в приміщенні до початку робочої зміни, впродовж та після її закінчення по сезонах року

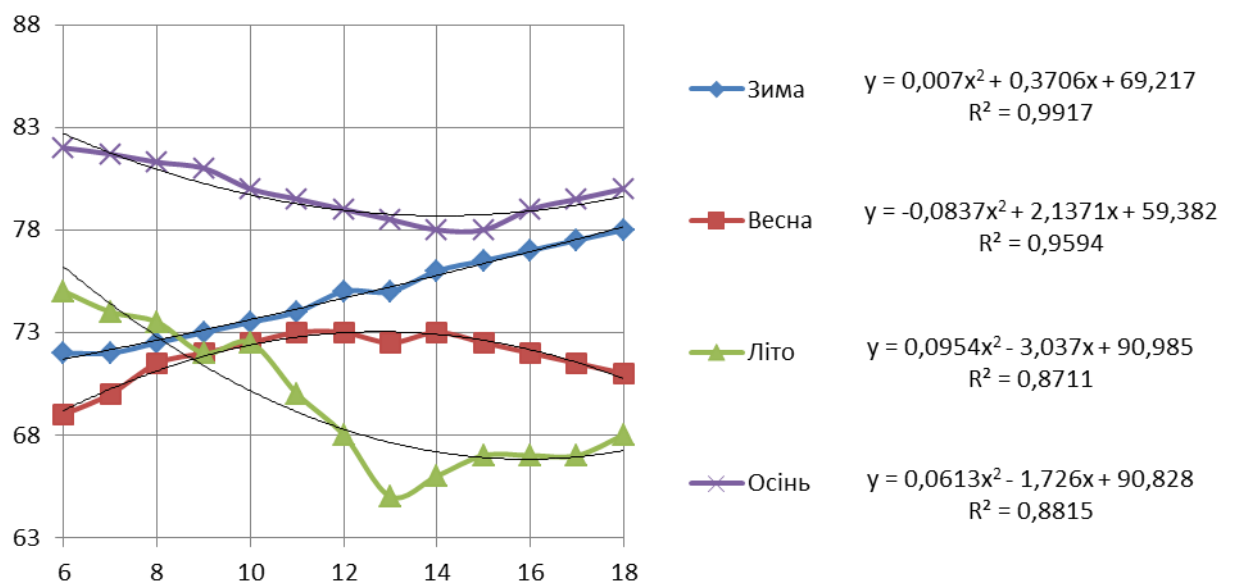


Рисунок 2.2 - Графіки зміни відносної вологості повітря в приміщенні до початку робочої зміни, впродовж та після її закінчення по сезонах року

2.2 Параметри, що підлягають контролю

При автоматизації регулювання можна застосувати різні варіанти схем для кожного контура. Вибір конкретної схеми автоматизації залежить від аналізу добових змін в режимах роботи систем кондиціонування. Це визначається динамічними характеристиками системи, а також вимогами щодо точності регулювання, швидкодії та інших показників [4].

Для систем кондиціонування повітря різного призначення вимоги можуть значно різнитися. Наприклад, для комфортного кондиціонування допустимі коливання температури t_v до ± 1 (1,5) $^{\circ}\text{C}$ та вологості ϕ_v до ± 10 %, для технологічних приміщень ці значення складають t_v до 0,5 (1) $^{\circ}\text{C}$ і ϕ_v до ± 5 %, а для спеціальних систем — t_v до $\pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$ і ϕ_v до ± 2 %. Регулювання припливних вентиляційних систем здійснюється лише в зимовий період, тоді як регулювання систем кондиціонування відбувається протягом усього часу експлуатації [4, 5, 7]. З точки зору динамічних властивостей, системи кондиціонування приміщень належать до об'єктів з розділеними параметрами, де нестационарні процеси описуються диференціальними рівняннями в частинних похідних, і їх аналітичне вирішення є складною задачею [6].

Аналіз змін режимів роботи системи протягом доби та врахування нестационарності процесів дозволяє оцінити теплові навантаження, що впливають на елементи системи, а також їх динаміку. Існує кілька методик для такого аналізу, які базуються на розв'язанні системи диференціальних рівнянь.

При використанні систем автоматичного регулювання (САР) необхідно забезпечити певну точність підтримки технологічних параметрів. Існуючі системи забезпечують відповідну точність, але часто вимоги до неї не є надто строгими. Тому важливо знайти компроміс між досягненням необхідної якості регулювання та витратами на експлуатацію і виготовлення системи. Крім того, важливими вимогами є надійність експлуатації та забезпечення економічної ефективності [4].

2.3 Вибір типу регулятора

Блок-схеми регуляторів, що можуть бути використані в системах підготовки повітря, наведені на рис. 2.3 [8]. В основному, в таких системах застосовуються регулятори, де керуючі сигнали є пневматичними або електричними, а відповідно, пристрої реалізують дво- та трьохпозиційне, П-, ПП-, ППД- регулювання [3].

ПП-регулятори застосовують у схемах захисту теплообмінників першого ступеня підігріву та реверсних клапанів повітря, а також у контурах регулювання температури зовнішнього або внутрішнього повітря, коли можливі значні коливання параметрів у широких межах.

У сучасних системах регулювання температури та рівня вологості використовують пропорційні або інтегральні регулятори. Пропорційні регулятори відрізняються високою швидкістю, але мають похибку, величина якої пропорційна збуренню. У свою чергу, інтегральні регулятори забезпечують меншу помилку, але мають повільнішу швидкість. Вибір конкретного регулятора обґрунтовується на розрахунках, а також на досвіді експлуатації та налаштування систем [8]. ПП-регулятори поєднують переваги обох вищезгаданих типів, але мають вищу вартість.

Якість регулювання можна покращити не лише вдосконаленням алгоритму, але й поліпшенням контуру регулювання через впровадження коректуючих пристроїв. Точність підтримки параметрів залежить від розташування датчиків температури та вологості, а також від застосованого алгоритму регулювання. Важливо враховувати, що підтримка температури з відхиленнями в межах $\pm 0,5^\circ$ у точці розташування чутливого елемента не є складною задачею, але на певній відстані від датчика значення температури може змінюватися через неконтрольовані та складні процеси конвективного і струминного теплообміну в приміщенні. У деяких випадках в приміщеннях слід встановити кілька датчиків, а вибір їхнього місця розташування має бути обґрунтований аналізом теплового режиму приміщення, де необхідно

підтримувати задані кліматичні параметри. Вибір конкретної схеми регулювання повинен базуватися на здатності забезпечити задані режими, а також на розрахунках надійності та техніко-економічному аналізі [5].

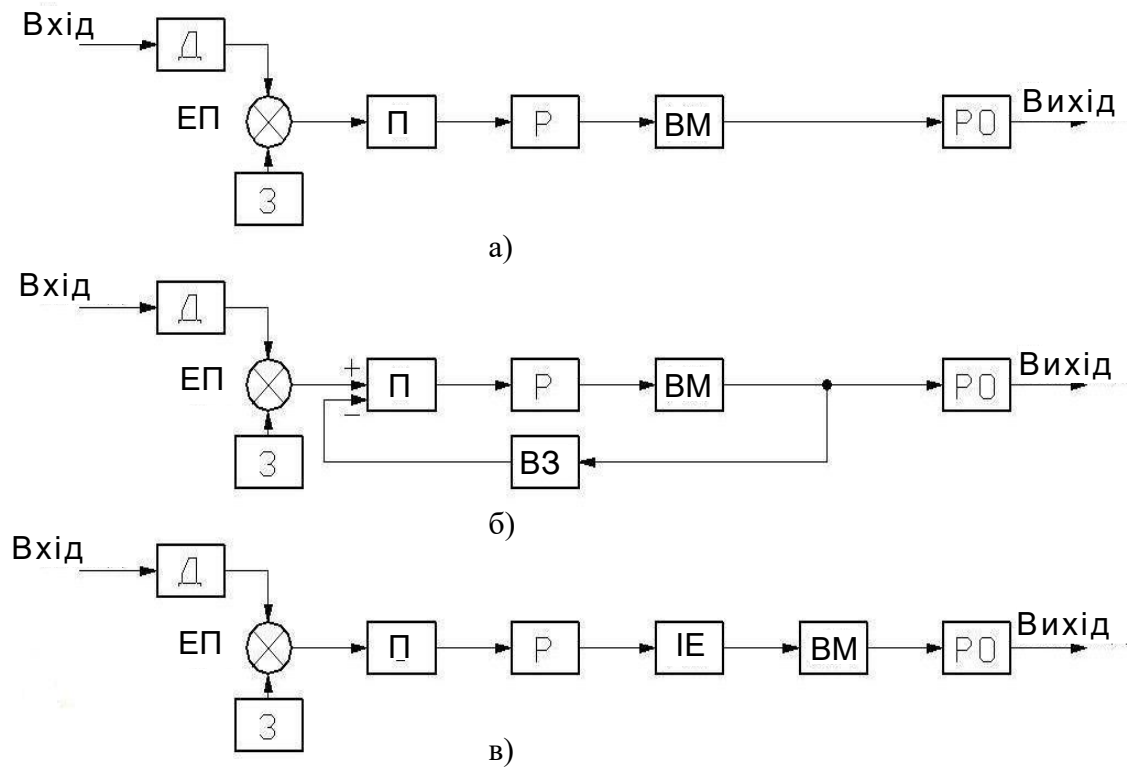


Рисунок 2.1 – Блок-схеми автоматичних регуляторів

а) дво- і трипозиційного;

б) пропорційного і пропорційно-інтегрального;

в) інтегрального.

Д - датчик, чутливий елемент якого сприймає зміну регульованого параметра;
 З - задаючий елемент, що визначає заданий рівень регульованого параметра; ЕП - елемент порівняння, П - підсилювач; Р - реле; ВМ - виконавчий механізм; РО - регулюючий орган, що здійснює процес дроселювання подачі робочого середовища або енергії (клапан, заслінка); ВЗ - блок від'ємного зворотного зв'язку (жорсткого або гнучкого); ІЕ - імпульсний елемент.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ОПИС ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

Система забезпечує виконання функцій захисту, контролю, регулювання, вимірювання та управління. Нижче наводиться опис основних функцій розроблюваної системи.

3.1 Реалізація функцій захисту

3.1.1 Забезпечення захисту двигунів

Сучасні двигуни, як правило, включаються та працюють автоматично. У разі аварії виходить з ладу не лише сам двигун, а й весь виробничий процес. Зупинка ліній або системи кондиціонування повітря призводить до значних втрат, які значно перевищують витрати на ремонт лише двигуна. Тому організація захисту двигуна є не тільки технічною, але й економічною задачею.

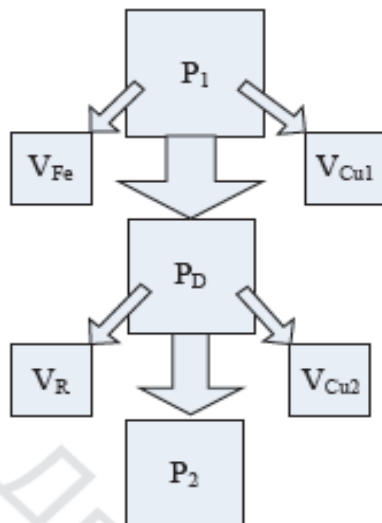


Рисунок 3.1 – Структура охолодження

P_1 – споживана потужність;
 P_D – потужність поля, що обертає;
 P_2 – потужність на валу;
 V_{Cu1} – втрати на статорі;
 V_{Cu2} – втрати на роторі;
 V_{Fe} – втрати на залізо;
 V_R – втрати на тертя.

Електродвигун є перетворювачем енергії, який отримує електричну енергію з мережі і перетворює її в механічну на валу (рис. 3.1) [3]. Основне завдання пристроїв захисту двигуна полягає в запобіганні перегріву як статора, так і ротора. Чим потужніший двигун, тим більший початковий пусковий струм, і, відповідно, ротор стає більш уразливим до пошкоджень [6].

Після ввімкнення двигуна встановлюється пусковий струм, який в 4–8 разів перевищує номінальний струм і не залежить від моменту навантаження. Це означає, що незалежно від того, працює двигун під навантаженням чи на холостому ході, величина струму залишається сталою. Час розгону залежить від характеристик робочої машини [7].

Основні причини теплового перевантаження:

- підвищений крутний момент під час тривалої роботи під навантаженням;
- занадто часте включення двигуна;
- тривале відносне включення при повторно-короткочасному режимі;
- надмірно тривалі процеси розгону та гальмування;
- робота з вентильними перетворювачами струму;
- блокування ротора під час включення або в процесі роботи.

До інших причин теплового перевантаження можна віднести неправильне підключення або комутацію, а також деякі характеристики мережі, зокрема [7]:

- асиметрія мережі та обрив мережевого дроту;
- значні відхилення від номінальних значень частоти або напруги в мережі.

Недостатнє охолодження двигуна може мати негативний вплив через такі фактори:

- підвищену висоту розташування (розріджене повітря на висоті понад 1000 м над рівнем моря);
- високу температуру охолоджуючого середовища;
- порушення нормального потоку охолоджувального повітря.

Основним завданням пристрою захисту двигуна є своєчасне спрацьовування до того, як температура двигуна досягне критичного рівня. Однак пристрої захисту не повинні спрацьовувати, якщо двигун:

- протягом дозволеного часу розгону та гальмування проходить початковий пусковий струм;
- працює в режимі тривалої експлуатації при номінальній потужності;
- перевантажений протягом 2 хвилин у розігрітому стані струмом, що в 1,5 рази перевищує номінальний.

Пристрої захисту двигуна можуть функціонувати на основі залежності від струму або температури. Теплові реле 3RU виробництва компанії "Siemens", а також розчіплювачі перевантаження в силових автоматах 3RV, використовують біметалічні пластини та обмотки накали, які нагріваються струмом, що протікає через двигун.

3.1.2 Забезпечення захисту водяного калорифера

У зимовий період в системах вентиляції нагрів повітря відбувається в теплообміннику. Якщо вода в трубках замерзає, це може призвести до їх розриву, що спричиняє витік води з системи та вимагає ремонту або заміни теплообмінника [4].

Для запобігання замерзанню води необхідно вжити низку заходів:

- забезпечити мінімальну допустиму швидкість потоку води;
- встановити захист від замерзання для повітря та води;
- у разі спрацювання захисту слід забезпечити закриття повітряного

клапана, відключення вентилятора та відкриття регулювального вентиля.

Для захисту повітря встановлюється термостат, капіляр якого розміщується за теплообмінником. Термостат спрацьовує при досягненні температури 5 °С, замикаючи релейний контакт і подаючи сигнал на щит керування.

3.2 Реалізація функцій контролю

3.2.1 Забезпечення контролю засмічення фільтру

Для очищення повітря від часток пилу та інших предметів на вході в систему встановлено фільтр. З часом фільтр забруднюється, що призводить до збільшення навантаження на двигун. Процес контролю засмічення здійснюється за допомогою реле тиску, яке вимірює перепад тиску до та після фільтра. У разі спрацювання реле, його контакт передає сигнал на щит керування [4].

3.2.2 Забезпечення контролю роботи двигуна

Контроль за роботою двигуна здійснюється за допомогою реле тиску, яке вимірює перепад тиску до та після двигуна. Під час роботи двигуна контакт реле тиску знаходиться в замкнутому стані. Коли двигун зупиняється, контакт реле розмикається, і сигнал передається на щит керування [4].

3.2.3 Забезпечення контролю температури води в зворотному трубопроводі

У черговому режимі повітряний клапан залишається закритим, а вентилятор вимкнений. Регулювання здійснюється за температурою води в трубопроводі Тобр, яка підтримується на заданому рівні Тобр.зад. Якщо температура Тобр перевищує задане значення, контролер переключається, щоб запобігти перегріву води, що повертається в теплову мережу.

3.3 Реалізація функцій регулювання

Температура припливного повітря $T_{пр.у}$ в процесі роботи системи підтримується на заданому рівні. Сигнал від датчика температури надходить на вхід ПІ-регулятора контролера, який формує керуючий сигнал для відкриття або закриття клапана, що відповідає за підігрів або охолодження повітря, залежно від сезону. Регулювання температури здійснюється за допомогою регулюючого клапана [4].

3.4 Реалізація функцій вимірювання

Система обробляє за програмою сигнали, що поступають на вхід ($T_{н.в.}$, $T_{пр.в.}$, $T_{обр}$) і формує сигнали регулювання і керування.

3.5 Реалізація функцій управління

У ручному режимі управління системою здійснюється за допомогою:

- кнопок
- перемикачів, розташованих на панелі управління

У автоматичному режимі управління:

- запуск двигунів та насосів відбувається через контролер
- активація здійснюється при сприятливих параметрах системи

3.6 Опис схеми функціональної

Згідно з функціональною схемою, принцип роботи припливної вентиляції виглядає наступним чином. Під час роботи системи повітря надходить через повітрозабірні ґрати до припливної установки. Потім воно проходить через повітряний клапан і шумоглушник, після чого потрапляє в секцію фільтрації. Очищене повітря далі проходить через секцію нагріву, де підігрівається до температури 22°C. Наступним етапом є охолодження повітря в камері охолодження. Після цього повітря потрапляє до секції вентилятора і, проходячи через ще один шумоглушник, по повітропроводах подається в приміщення.

Температура повітря вимірюється датчиком (16a), і отримане значення передається в щит керування. Контролер обробляє цю інформацію та генерує сигнал для регулювання клапанів (8a, 11a) [1].

У системі реалізовано контроль за засміченням фільтра. Якщо перепад тиску до та після фільтра перевищить 100 Па, датчик (4a) замкне свої контакти, що активує світлову сигналізацію. Якщо протягом 72 годин фільтр не буде очищений або замінений, система автоматично зупиниться [5].

У системі передбачено захист калориферів від замерзання. Якщо температура води в зворотному трубопроводі знижується нижче 20 °C, сигнал від датчика (5a) надходить до щита керування. Також є захист за температурою повітря після калорифера: датчик (9a) передає сигнал при температурі 5 °C, який також надходить в щит керування. При отриманні одного з цих сигналів зупиняється вентилятор, закривається клапан зовнішнього повітря, а триходовий клапан (8a) відкривається для збільшення витрати теплоносія. У результаті припиняється рух повітря, але циркуляція теплоносія через калорифер продовжується. Без теплообміну температура теплоносія підвищується, і коли вона досягає 50 °C, вентилятор знову включається, клапан зовнішнього повітря відкривається, і робота калорифера відновлюється.

Перемикання між літнім і зимовим режимами роботи здійснюється за допомогою датчика температури повітря (1a). В залежності від обраного режиму,

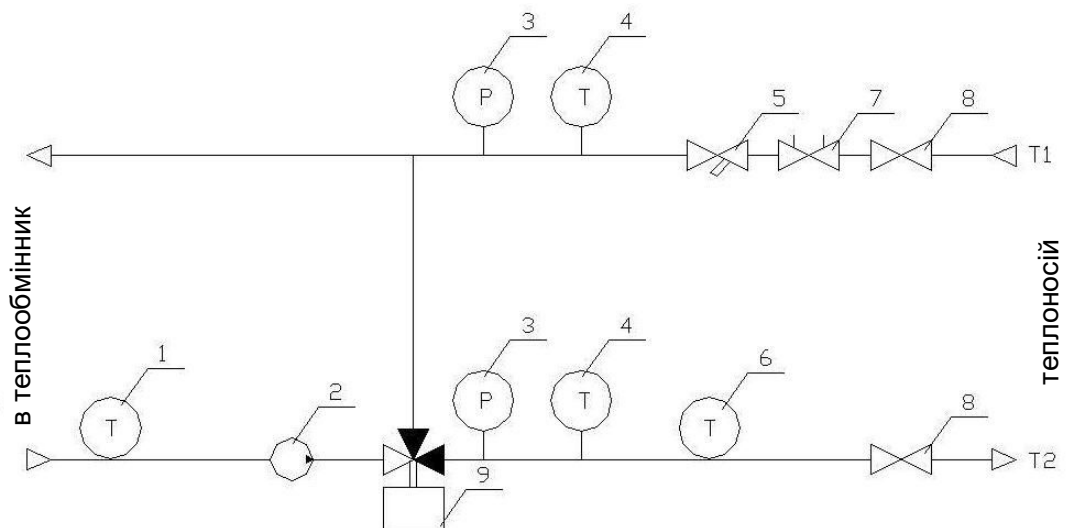


Рисунок 3.2 – Схема вузла управління УУ1

1 – накладний термостат захисту калорифера від замерзання по воді;
 2 – циркуляційний насос; 3 – показуючий стрілочний манометр; 4 – показуючий стрілочний термометр; 5 – фільтр; 6 – накладний датчик температури зворотної води; 7 – клапан Балансування; 8 – відсічною кульовий кран; 9 – триходовий клапан з електроприводом.

повітря або охолоджується, або нагрівається. Для регулювання температури припливного повітря використовується блок управління подачею теплоносія в повітряонагрівач. Схему вузла управління УУ1 можна побачити на рис. 3.2.

В тепломережі вода проходить через клапан, фільтр і потрапляє в теплообмінник, де віддає тепло, після чого повертається в мережу. Циркуляційний насос змішує припливну воду з водою, що повертається, яка потрапляє в припливний трубопровід, залежно від положення клапана. Клапан регулює потік зворотної води в теплообмінник, змінюючи його обсяг відповідно до температури зовнішнього повітря або температури зворотної води. Термостат виконує функцію захисту від замерзання теплоносія в теплообміннику: якщо температура води падає нижче 0 °С, що призводить до замерзання теплоносія, трубка теплообмінника може лопнути.

Для регулювання подачі холодоносія в літній період використовується пристрій управління подачею холодоносія в повітроохолоджувач (рис. 3.3).

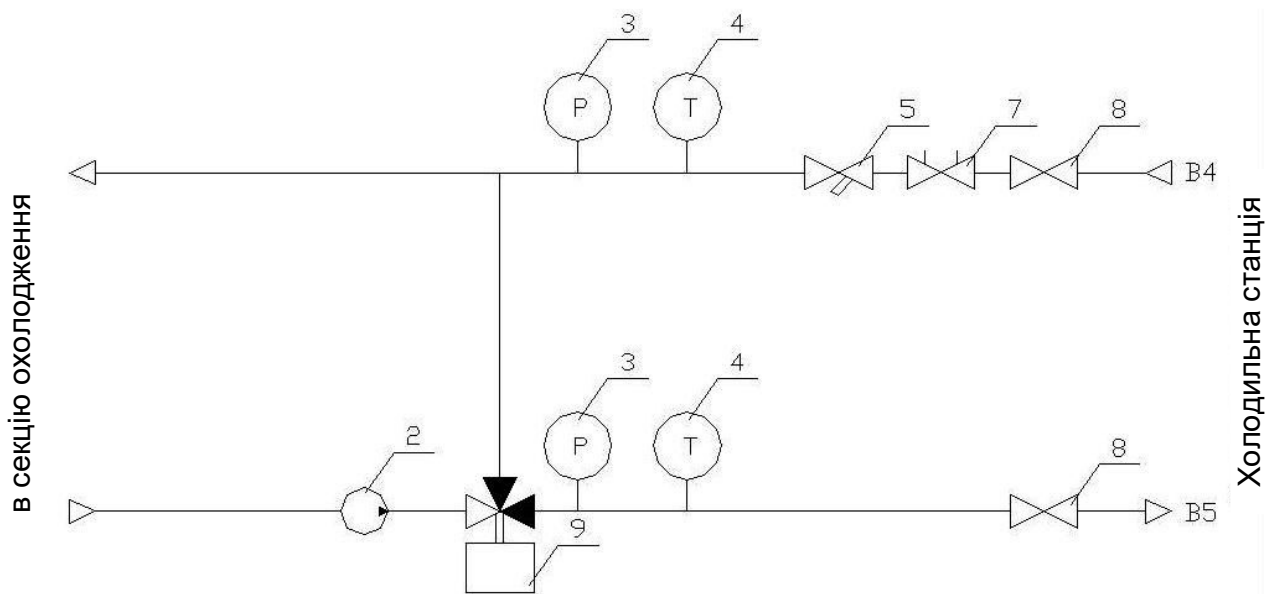


Рисунок 3.3 – Подача холодоносія в повітроохолоджувач УУ2

2 – циркуляційний насос; 3 – показуючий стрілочний манометр;
4 – показуючий стрілочний термометр; 5 – фільтр; 7 – клапан балансування;
8 – відсічний кульовий кран; 9 – триходовий клапан з електроприводом.

Вода, що виходить з холодильної машини, проходить через балансувальний клапан і фільтр, після чого потрапляє до секції охолодження, де вона підігрівається і повертається до тепломережі. Циркуляційний насос змішує припливну і зворотну воду, регулюючи їх пропорції за допомогою регулювального клапана, який коригує подачу зворотної води до теплообмінника в залежності від температури припливного повітря.

3.7 Розробка схеми електричної принципової

На цій схемі показані електричні пристрої та елементи, необхідні для виконання і моніторингу заданих електричних процесів, а також зв'язки між ними і компоненти, якими закінчуються вхідні та вихідні ланцюги. Розроблювана система має два режими роботи — літній та зимовий, причому теплоносієм та холодоносієм є вода. Перемикання режимів може відбуватись автоматично або вручну. Автоматичний перехід між режимами здійснюється за сигналом датчика температури повітря з гістерезисом. Перехід із зимового режиму на літній відбувається при температурі вище 12 °С, а з літнього на зимовий — при температурі 8 °С.

3.8 Обґрунтування вибору засобів автоматизації

Система, що розробляється, включає в себе ряд датчиків технологічних параметрів, виконавчих механізмів, приводів, та інших автоматизованих компонентів. Основним елементом цієї системи є програмований контролер LOGO від компанії "Siemens" [9].

3.8.1 Вибір елементів управління

3.8.1.1 Вибір контролера

Логічні модулі LOGO! — це готові універсальні пристрої в компактному виконанні, призначені для створення автоматичних систем, що здійснюють обробку інформації. Зовнішній вигляд приладу зображений на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд контролера

Алгоритм функціонування модулів реалізується програмою, що складається з набору функцій. Завантаження програми в контролер відбувається через клавіатурні модулі без потреби в додатковому програмному забезпеченні. Модулі контролера мають відносно низьку вартість [9, 11].

Контролер складається з таких компонентів: блок живлення; інтерфейс для програмного модуля та кабелю РС; пристрій керування; панель індикації та управління з фоновим підсвічуванням; інтерфейс для підключення модулів

розширення; входи та виходи, що відповідають типу пристрою; цифрові та аналогові прапори тощо; стандартні попередньо налаштовані функції.

Контролери LOGO! застосовуються для вирішення технічних завдань як у промисловості, так і в побуті, зокрема для управління машинами та апаратами, електроустаткуванням у житлових приміщеннях, а також у комутаційних шафах. Ці контролери використовуються також для створення систем керування технологічними параметрами в теплицях та інших подібних сферах.

Вбудовані входи модулів призначені для прийому дискретних сигналів, при цьому напруга живлення вхідних ланцюгів відповідає напрузі живлення самого модуля. Два з восьми входів, залежно від моделі контролера, можуть мати універсальне призначення і використовуються для введення дискретних аналогових сигналів з напругою 0...10 В. Модулі LOGO! Contact застосовуються для комутації трифазних ланцюгів змінного струму з напругою до 400 В, а також для управління короткозамкнутими асинхронними двигунами потужністю до 4 кВт. Існує дві модифікації цих модулів, які відрізняються напругою живлення обмоток керування: 24 В або 230 В змінного струму. Модулі не підключаються до внутрішньої шини LOGO!, і для керування обмотками використовуються дискретні виходи модулів або DM8/DM16.

Блоки живлення LOGO! Power використовують для перетворення мережевої напруги $\sim 115/230$ В на вихідну напругу = 12 В або = 24 В і використовуються для захисту навантаження від коротких замикань [9]. Захист від несанкціонованого доступу, довготривале зберігання резервної копії та можливість копіювання програми з одного логічного модуля на інший забезпечуються за допомогою модуля пам'яті [9].

Програмування контролера здійснюється за допомогою клавіатури з відображенням інформації на дисплеї. Процес полягає в з'єднанні вбудованих функціональних блоків і налаштуванні параметрів. Виконання цих операцій здійснюється через систему вбудованих меню [9].

Вбудовані функції у вигляді бібліотек зберігаються в пам'яті модуля. Бібліотека SF включає спеціальні функції, такі як таймери, лічильники, тригери, імпульсні реле, компаратори тощо.

Надійність компонентів і пристроїв забезпечується через реалізацію низки заходів під час розробки та виготовлення, зокрема: проектування ланцюгів з урахуванням поганих умов експлуатації; використання високоякісних компонентів; перевірка всіх схем високої інтеграції та окремих елементів; візуальний контроль на етапах виготовлення; ретельні комп'ютеризовані випробування; тестування при підвищених температурах навколишнього середовища протягом кількох діб; контроль компонентів через тестування; статистичний аналіз повернених систем для проведення коригувальних заходів.

Підключення модулів розширення дозволяє збільшити кількість обслуговуваних входів і виходів, а також адаптувати систему до вимог конкретної задачі. Модулі DM8 мають 8-канальну структуру, а модулі DM16 — 16-канальну. При активному навантаженні релейні виходи цих модулів можуть комутувати струми до 5 А. Внутрішня шина модулів DM8/DM16 підключається до модуля з такою ж напругою живлення [9].

3.8.1.2 Програмування контролера

Програмування контролера проводиться за допомогою програмного забезпечення LOGO! Soft Comfort. Це ПЗ надає можливості для розробки програм для логічних модулів LOGO!, а також їх тестування та налагодження. Розробка програми здійснюється за допомогою мов FBD або LAD (Ladder Diagram) [9, 10].

У процесі розробки програми забезпечується її повне представлення, а також підтримка великої кількості сервісних функцій. Розробка, тестування та відлагодження програми можуть проводитися в автономному режимі без необхідності підключення реального модуля LOGO! Готову програму можна записати на модуль пам'яті або завантажити в логічний модуль, а також зберегти на жорсткому диску комп'ютера.

3.8.2 Обґрунтування допоміжних елементів управління

3.8.2.1 Обґрунтування вибору датчиків

Для вимірювання температури по відповідному каналу пропонується використання пристрою типу QAC2010 як первинного вимірювального перетворювача. Цей пристрій призначений для вимірювання температури повітряного потоку, рівня сонячної радіації та температури стіни будівлі. Зовнішній вигляд датчика показаний на рис. 3.7. Конструктивно датчик є чутливим елементом Pt 100 Ом при 0 °С, Чутливий елемент залитий гумою синтетичною.



Рисунок 3.7 –
Зовнішній вигляд
датчика QAC2010

Технічні характеристики:

- допустима вологість: 5...100 %;
- діапазон вимірювання : - 50...+70 °С;
- допустимі відхилення: ± 1 °С при - 10...+20 °С;
- чутливий елемент Pt 100 Ом при 0 °С;
- міра захисту корпусу: IP43;
- постійна часу: 10 хв.;

Датчик-реле перепаду тиску повітря QBM81.5

Пристрій застосовується для контролю перепаду тиску, а також для моніторингу зниженого та підвищеного тиску в системах кондиціонування та вентиляції повітря. Зовнішній вигляд датчика показано на рис. 3.8 [10, 11].



Рисунок 3.8 –
Зовнішній вигляд
датчика QBM81.5

Пристрій використовується для аварійної зупинки двигуна та контролю засмічення фільтра.

Принцип роботи датчика тиску повітря QBM81.5 полягає в тому, що перепад тиску між обома з'єднаннями призводить до деформації діафрагми.

Датчик можна кріпити на повітропроводах. Рекомендується вертикальна орієнтація, хоча інші варіанти розташування також є допустимими. Сполучні трубки можуть бути будь-якої довжини, але якщо їх довжина перевищує 2 метри, час реакції на перепад тиску може збільшитися. Датчик має бути розташований вище точок з'єднання. Для запобігання конденсації трубопроводи повинні бути прокладені з нахилом від точок з'єднання до датчика. Діапазон вимірювання становить 50...500 Па.

Термостат накладний типу RAK - TW.5000

Вигляд датчика показано на рис 3.9.

Термостат забезпечує захист від замерзання, контролюючи температуру води в трубопроводі, і оснащений однополюсним перекидним перемикачем. Поріг температури відображається на корпусі термостата через віконце. Коли температура знижується до встановленого рівня, перекидний контакт спрацьовує, подаючи сигнал на щит керування.



Рисунок 3.9 –
Зовнішній вигляд
термостата
RAK - TW.500

Діапазон виміру становить 5...65°C.



Рисунок 3.10 –
Зовнішній вигляд
первинного
вимірювального
перетворювача
температури
QAC 21

Первинний вимірювальний перетворювач температури типу QAC 21

Датчик температури призначений для вимірювання температури в трубопроводах. Він використовується для контролю або обмеження температури потоку, температури води в трубопроводі та гарячої води. Зовнішній вигляд датчика показаний на рис. 3.10. Чутливий елемент Pt100 вимірює температуру трубопроводу, змінюючи свій опір в залежності від температури середовища.

Діапазон виміру параметра – $30...+130^{\circ}\text{C}$.

Термостат захисту від замерзання типу QAF81.3

Термостат здійснює контроль температури повітря після теплообмінника в



Рисунок 3.11 –
Зовнішній вигляд
термостата захисту
від замерзання
QAF81.3

системах кондиціонування та вентиляції, запобігаючи його замерзання та пошкодженню теплообмінника. Зовнішній вигляд датчика показаний на рис. 3.11.

Газонаповнений капіляр, з'єднаний з діафрагмованою камерою, є вимірювальним елементом, механічно пов'язаним з мікроперемикачем. Термостат реагує на зниження температури нижче встановленого порогу на ділянці капіляра довжиною 30 см. При перевищенні температури термостат автоматично скидається. Капіляр термостата має бути розташований після калорифера по потоку повітря, на відстані 5 см від

теплообмінника, закріплений за допомогою спеціальних кронштейнів з петлями, паралельними площині теплообмінника. Капіляр повинен перекривати увесь переріз повітропроводу після калорифера.

Діапазон вимірювання температури - $5...+15^{\circ}\text{C}$.

Первинний вимірювальний перетворювач температури типу QAM2110.040

Зовнішній вигляд датчика приведений на рис. 3.12.

Датчик температури каналний використовують в установках вентиляції та кондиціонування повітря в якості [5]:

- датчика температури повітря, що виходить або входить об'єкт;
- датчика-обмежувача в припливному каналі;
- керуючого датчика, для регулювання температури об'єкту по зовнішній температурі;



Рисунок 3.12–
Зовнішній вигляд
первинного
вимірювального
перетворювача
температури
QAM2110.040

- вимірювального датчика для індикації вимірюваних величин або подачі даних вимірів централізованій системі контролю;

- датчика точки роси.

Технічні характеристики:

- робочий діапазон: - 50... +80°C;

- вимірювальний елемент: Pt100 Ом/0°C;

- постійна часу: 30 с;

Місце установки:

- в установках кондиціонування після повітрорудвки;

- у витяжному каналі до витяжного вентилятора;

- при регулюванні вологості припливного повітря по методу точки роси після крапле вловлювача, а також після зволожувача;

- як обмежувач температури повітря, яке надходить до об'єкта, по можливості ближче до приміщення.

Діапазон виміру параметра – 30...+120°C.

3.8.2.2 Виконавчі механізми і насоси

Електропривод повітряного клапана типу GMA126.1E, зображений на рис. 3.13, призначений для відкриття та закриття клапана повітряного потоку. Цей привод керує повітряним клапаном, який регулює подачу повітря в приміщення.

Пропонується для використання двохпозиційні привод з кутом повороту 90°. У нього є додаткові контакти, які мають налаштування на спрацьовування на кутах 5°...90°.

Циркуляційний насос типу UPS 25-20

Зовнішній вигляд запропонованого насоса показаний на рис. 3.14.

У вентиляційних системах насоси виконують важливу роль у регулюванні параметрів повітря. Надійність роботи насосів безпосередньо впливає на ефективність функціонування системи вентиляції. Одним з поширених виробників насосів є компанія "Grundfos". У системах вентиляції повітря та тепло- і холодопостачання насоси працюють у двох режимах: при змінній витраті

рідини та при постійній витраті. Для постійної витрати рекомендується використовувати насоси з постійною частотою обертання ротора електродвигуна. Для таких умов "Grundfos" виробляє насоси типу UPS, які можна монтувати на трубопроводах без потреби в фундаменті. Для регулювання продуктивності насосів ці моделі мають можливість ручного перемикання між трьома різними частотами обертання. У системах опалення циркуляційний насос забезпечує рух води через систему регулювання, подаючи теплоносій до калорифера, що знижує ризик замерзання води в ньому.

Привод ЗРК пропонується обрати типу SSB61U

Зовнішній вигляд пристрою представлений на рис. 3.15. Електромеханічні приводи використовуються в системах вентиляції з фанкойлами та охолоджуваними стелями для керування клапанами охолодження та нагріву. Привід отримує сигнал управління в діапазоні 0...10 В, який активує шток приводу, що, у свою чергу, впливає на роботу клапана. Клапан звичайно відкривається на величину, пропорційну напрузі. Електромеханічні приводи зазвичай використовують спільно з 3-х ходовими клапанами з номінальним ходом штока 5,5 мм.



Рисунок 3.13—
Зовнішній вигляд
електроприводу
GMA126.1E



Рисунок 3.14—
Зовнішній вигляд
насоса UPS 25-20

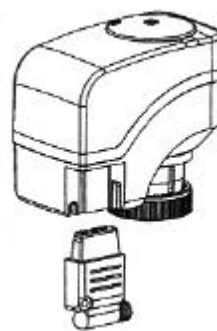


Рисунок 3.15—
Зовнішній вигляд
приводу SSB61U

3.8.2.3 Обґрунтування вибору регулюючих клапанів



Рисунок 3.16–
Зовнішній
вигляд клапана
VXR45.20-4

3-х ходовий регулюючий клапан типу VXR45.20-4 (ЗРК) використовується в системах кондиціонування для регулювання потоку в замкнутих контурних системах, що включають калорифери, вторинні охолоджувачі та фанкойли. Він призначений для застосування в 2-трубних системах з одним теплообмінником, який здійснює як охолодження, так і нагрівання (для літнього та зимового періоду). Зовнішній вигляд клапана зображений на рис. 3.16.

Характеристика регулюючого клапана визначається номінальним потоком води ($\text{м}^3/\text{год}$), що проходить через повністю відкритий клапан (шток на 100 %), при температурі води 20°C та перепаді тиску 1 бар.

3.8.2.4 Силові вимикачі

Струмообмежувальні автоматичні вимикачі типу 3RV1 використовуються для захисту двигунів від перегріву. Їх характеристики розчеплення розраховані для захисту трифазних двигунів. Розрахунковий струм двигуна встановлюється на настроювальній шкалі. Розчіплювач короткого замикання налаштований на заводі на 13-кратну величину розрахункового струму короткого замикання, що забезпечує надійний захист і нормальний пуск двигуна. Чутливість вимикача до випадання фази дозволяє своєчасно спрацювати при відсутності однієї з фаз або при високих струмах у решті фаз. Силові автоматичні вимикачі також забезпечують захист лінії.

З каталогу Siemens для двигунів потужністю 1кВт пропонується вибрати автоматичний вимикач типу 3RV10 11-1DA1 з такими характеристиками:

- струмовий розчіплювач перевантаження 2,2-3,2 А;
- максимальний розчіплювач струму без витримки часу 42 А;
- відключаюча здатність при короткому замиканні при 400 В 10 0кА.

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Вихідні дані для розробки САР

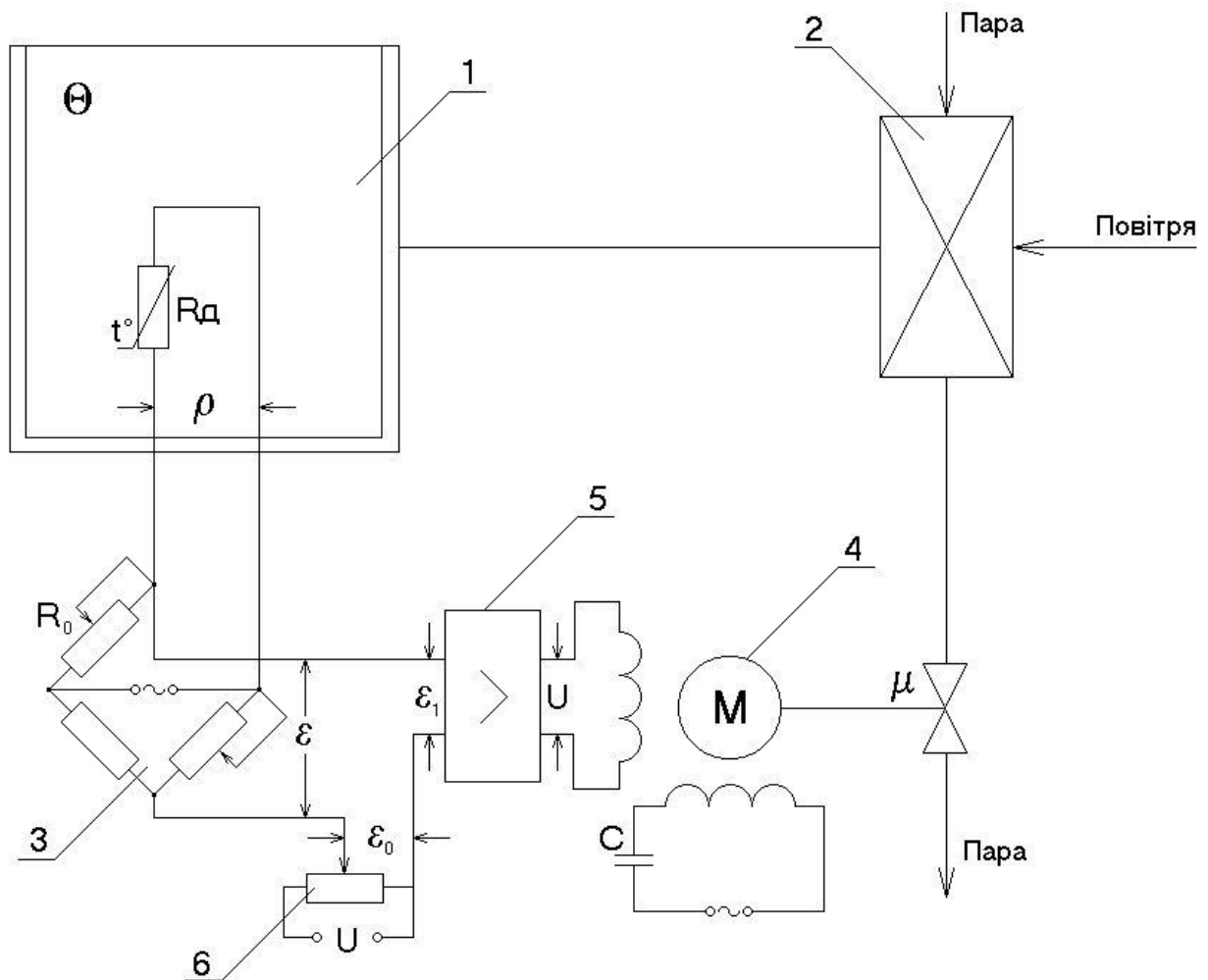


Рисунок 4.1 – Принципова схема системи автоматичного регулювання температури повітря:

1 – приміщення; 2 – теплообмінник (калорифер); 3 – вимірювальна мостова схема; 4 – двофазний виконавчий двигун; 5 – фазочутливий підсилювач; 6 – задаючий резистор.

Рівняння елементів системи:

чутливого елемента:

$$\rho = k_2 \Theta; \quad (4.1)$$

об'єкта:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu - k_1 f; \quad (4.2)$$

вимірювальної схеми:

$$\varepsilon = k_3 \rho ; \quad (4.3)$$

виконавчого двигуна з регулюючим органом:

$$T_1 \left(\frac{d^2 \mu}{dt^2} \right) + \frac{d\mu}{dt} = k_5 U ; \quad (4.4)$$

підсилювача:

$$U = k_4 \varepsilon_1 ; \quad (4.5)$$

сигнал неузгодження:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 - \varepsilon . \quad (4.6)$$

Параметри:

ρ – сигнал чутливого елемента;

f – еквівалентне збурююче діяння;

ε_0, U – відповідно вхідний і вихідний сигнали підсилювача;

Θ – поточне значення температури в приміщенні;

μ – переміщення регулюючого елемента;

ε_0 – вхідний параметр;

ε_0 – вихідний сигнал вимірювальної схеми.

Вихідні дані:

$$k_0 = 20 \text{ град/см}; \quad k_1 = 2,0 \text{ град/см}; \quad k_2 = 20 \text{ Ом/град};$$

$$T_0 = 1000 \text{ с}; \quad T_1 = 0,060 \text{ с}; \quad f = 1,1 \text{ см};$$

$$k_3 = 0,001 \text{ В/Ом}; \quad k_4 = 100; \quad k_5 = 0,30 \text{ см/В}.$$

Вимоги до синтезованої САР:

- час регулювання приймається зменшеним на 30 % від отриманого для заданих параметрів системи;
- максимальне перерегулювання не повинно перевищувати 25 %.
- в процесі синтезу САР розробити систему, оптимальну за швидкодією;
- запас стійкості за модулем не менше 15 дБ, за фазою не менше 30°.

4.2 Принцип регулювання та принцип дії системи

Основне завдання системи — підтримка заданої температури в приміщенні шляхом регулювання кількості теплоносія, що подається разом із повітрям. Температурний контроль в приміщенні здійснюється за допомогою температурного датчика.

На рис. 4.1 зображена принципова схема системи автоматичного регулювання (САР) температури в приміщенні. Система включає об'єкт регулювання, термодатчик, вимірювальну мостову схему, задаючий резистор, виконавчий двигун, фазочутливий підсилювач та калорифер.

У цій схемі використовується принцип регулювання за відхиленням фактичного значення вихідної величини від заданого. Для реалізації цього методу управління система повинна бути замкнутою. Головною особливістю цієї схеми є те, що вона реагує на відхилення регульованої величини від заданого значення, незважаючи на причини, які спричинили це відхилення [5].

4.3 Функціональна схема САР

На основі принципової схеми САР побудовано функціональну схему САР, яка представлена на рис. 4.2 :

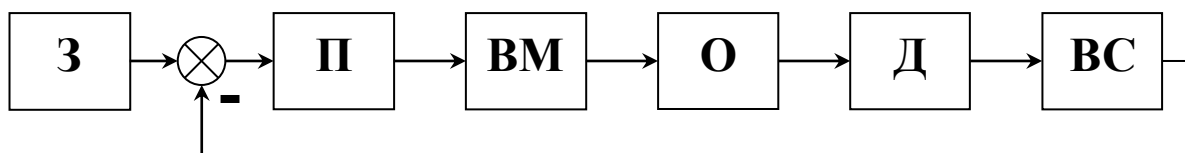


Рисунок 4.2 – Функціональна схема САР температури повітря в приміщенні:
З – задаючий пристрій; П – підсилювач; ВМ – виконавчий механізм; О – об'єкт регулювання; Д – датчик; ВС – вимірювальна схема

4.4 Структурна схема САР

Для побудови структурної схеми САР були застосовані диференціальні рівняння елементів схеми. Для визначення передаточних функцій елементів використано пряме перетворення Лапласа [9]. Щоб отримати передаточну функцію об'єкта, ми прирівнюємо збурююче діяння f до нуля, оскільки наша мета — знайти передаточну функцію за керуючим діянням. Таким чином, отримуємо:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu - k_1 f$$

$T_0 \cdot \bar{\Theta} \cdot p + \bar{\Theta} = k_0 \bar{\mu}$, де p – оператор Лапласа.

$$W_o(p) = \frac{\bar{X}_{\text{вих}}}{\bar{X}_{\text{вх}}} = \frac{\bar{\Theta}}{\bar{\mu}} = \frac{k_0}{T_0 p + 1}. \quad (4.7)$$

Це аперіодична динамічна ланка першого порядку.

Аналогічним чином отримуємо передаточні функції інших елементів системи:

чутливого елемента:

$$W_d(p) = \frac{\bar{\rho}}{\bar{\Theta}} = k_2; \quad (4.8)$$

вимірювальної схеми:

$$W_{ec}(p) = \frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\rho}} = k_3; \quad (4.9)$$

підсилювача:

$$W_n(p) = \frac{\bar{U}}{\bar{\varepsilon}_1} = k_4; \quad (4.10)$$

виконавчого двигуна з регулюючим органом:

$$W_{em}(p) = \frac{\bar{\mu}}{\bar{U}} = \frac{k_5}{T_1 p^2 + p} = \frac{k_5}{p(T_1 p + 1)}. \quad (4.11)$$

Відповідно функціональній схемі складемо структурну схему (рис. 4.3).

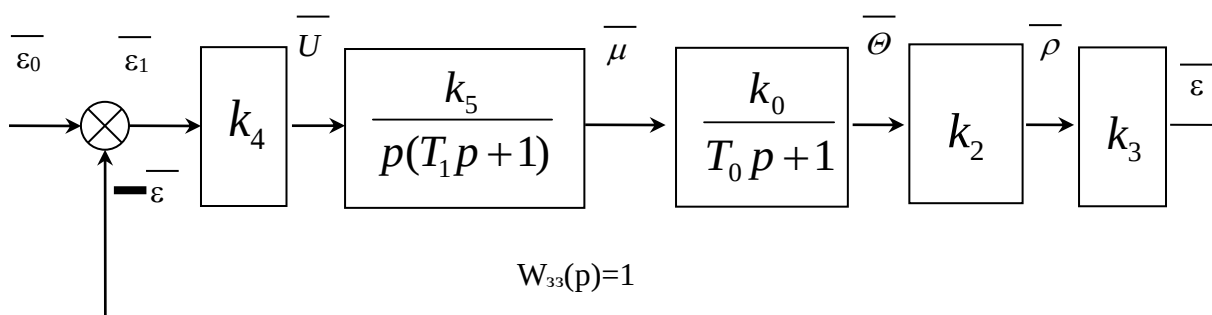


Рисунок 4.3 – Структурна схема САР температури повітря у приміщенні

4.5 Передаточні функції розімкнутої та замкнутої систем та характеристичне рівняння

Оскільки елементи структурної схеми системи розташовані послідовно, для обчислення передаточної функції розімкненої системи слід перемножити передаточні функції всіх її компонентів [2]:

$$W_p(p) = W_n(p) \cdot W_{\varepsilon m}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_d(p) \cdot W_{\varepsilon c}(p) = \frac{k_0 k_2 k_3 k_4 k_5}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}.$$

Для спрощення запису введено позначення:

$$k = k_0 k_2 k_3 k_4 k_5.$$

Тоді передаточна функція розімкнутої системи матиме вигляд:

$$W_p(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}. \quad (4.12)$$

Передаточна функція замкнутої системи (за умови одиничного зворотного зв'язку):

$$W_z(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) + k}. \quad (4.13)$$

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k = 0. \quad (4.14)$$

Підставивши відповідні значення сталих часу та коефіцієнтів підсилення, отримаємо

$$60 p^3 + 1000,06 p^2 + p + 12 = 0$$

4.6 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи

4.6.1 Побудова АФЧХ розімкнутої системи

Для побудови АФЧХ розімкнутої системи необхідно у передаточній функції провести заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω - відповідно частота), виділити дійсну частину $P(\omega)$ і уявну частину $Q(\omega)$ та, змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення [2]:

$$W_p(\omega) = \frac{k}{T_1 T_0 (j\omega)^3 + (T_1 + T_0)(j\omega)^2 + j\omega}.$$

Провівши перетворення, підставивши значення параметрів, отримаємо:

$$W_p(\omega) = \frac{k}{-jT_1 T_0 \omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega} = \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2 - j(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2};$$

$$P(\omega) = \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2)}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{12(-1000,06\omega^2)}{(-1000,06\omega^2)^2 + (\omega - 60\omega^3)^2};$$

$$Q(\omega) = \frac{k(-(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{12(-(\omega - 60\omega^3))}{(-1000,06\omega^2)^2 + (\omega - 60\omega^3)^2}$$

Далі, змінюючи ω від 0 до (теоретично) ∞ , побудуємо графік АФЧХ (рис. 4.4).

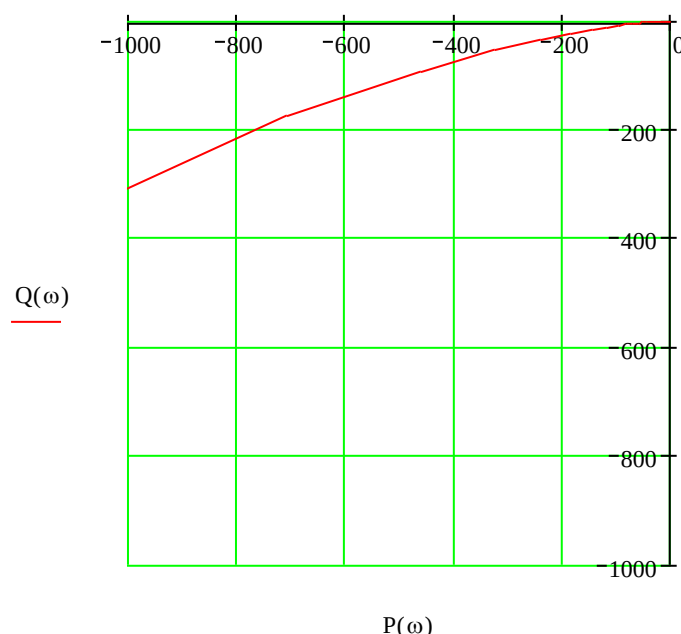


Рисунок 4.4 – АФЧХ розімкнутої системи

4.6.2 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи

Для побудови логарифмічної АЧХ за допомогою асимптотичного методу передусім потрібно знайти спрягаючі частоти за сталими часу динамічних ланок:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{1000} = 0,001 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці першого порядку};$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,06} = 16,7 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці першого порядку}.$$

Спрягаючі частоти відмічаємо в логарифмічному масштабі на осі частот (рис. 4.5). Низькочастотна асимптота логарифмічної АЧХ при $\omega < \omega_0$ являє собою пряму з нахилом -20 дБ/дек, оскільки система містить інтегруючу динамічну ланку. Ця пряма або її продовження при $\omega=1$ повинна мати ординату, яка дорівнює $20\lg k = 21,58$ дБ ($k = 12$ – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи). Після частот ω_0 , ω_1 нахил характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім на -20 дБ/дек, так як обидві частоти належать аперіодичним динамічним ланкам першого порядку. Високочастотна асимптота логарифмічної АЧХ, тобто її частина при частотах, більших ω_1 , має нахил -60 дБ/дек [2].

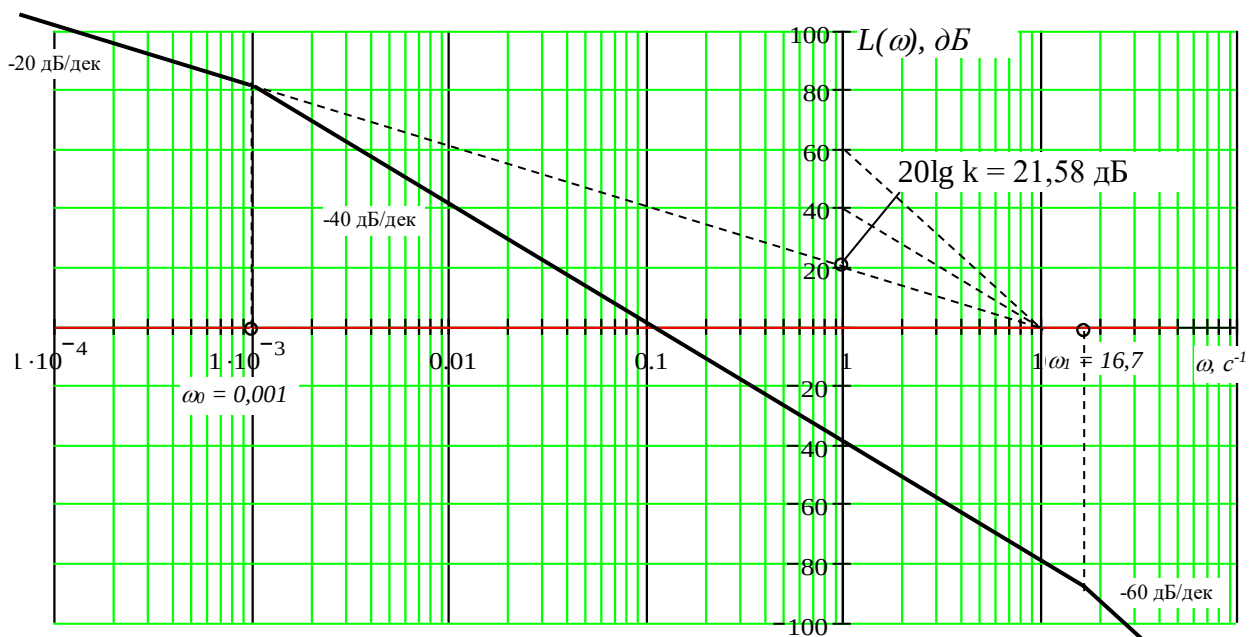


Рисунок 4.5 – ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$

4.6.3 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи

Логарифмічна ФЧХ одноконтурної розімкнутої системи будується в результаті складання ординат фазових характеристик ланок типових, що входять до складу даної системи [3]:

$$\phi(\omega) = \left(-\arctg(\omega T_0) - \arctg(\omega T_1) - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (4.15)$$

Підставивши значення сталих часу і змінюючи частоту від значень, близьких до нуля до сотень, за допомогою редактора Mathcad отримаємо графік логарифмічної ФЧХ (рис. 4.6).

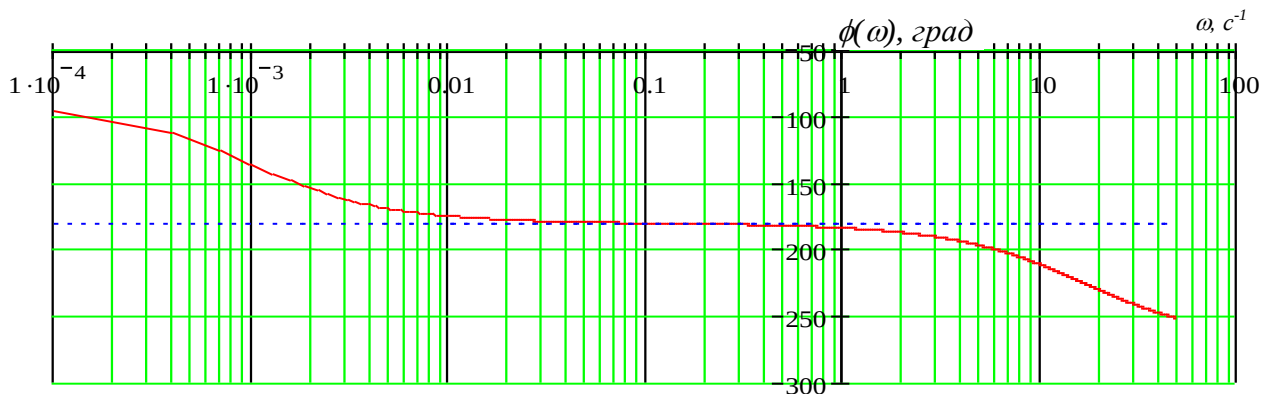


Рисунок 4.6 – ЛФЧХ розімкнутої системи $\phi(\omega)$.

4.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи

Для побудови частотної дійсної характеристики замкненої системи необхідно виділити дійсну частину передавальної функції системи, замінивши відповідні змінні $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω - частота). Змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення $P_s(\omega)$:

$$W_s(\omega) = \frac{k}{-jT_1T_0\omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega + k} = \frac{k((k - (T_1 + T_0)\omega^2) - j(\omega - T_1T_0\omega^3))}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1T_0\omega^3)^2}$$

Провівши певні перетворення, отримаємо:

$$P_s(\omega) = \frac{k \cdot (k - (T_1 + T_0) \cdot \omega^2)}{(k - (T_1 + T_0) \cdot \omega^2)^2 + (\omega - T_1 \cdot T_0 \cdot \omega^3)^2}$$

Змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкладемо відповідні значення $P_s(\omega)$ (рис. 4.7).

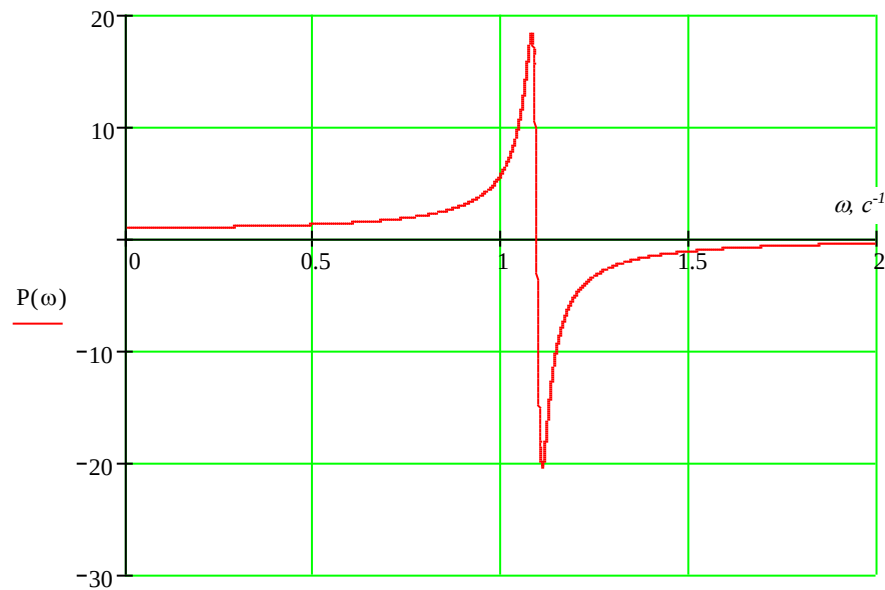


Рисунок 4.7 – Дійсна частотна характеристика замкнутої системи

4.8 Визначення стійкості замкнутої системи і запасів стійкості. Побудова області стійкості

4.8.1 Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра

Границі або ділянку зміни одного або кількох параметрів системи можна знайти за допомогою методу D-розбиття [5].

Побудуємо область стійкості системи в площині параметру k_4 , тому що є можливість його зміни:

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k_0 k_2 k_3 k_4 k_5 = 0.$$

Запишемо характеристичне рівняння відносно k_4 :

$$K(p) = - \frac{T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p}{k_0 k_2 k_3 k_5}$$

Підставивши $p = j\omega$ та виділивши дійсну і уявну частини даного виразу, отримаємо:

$$P(\omega) = -\frac{(T_1 + T_0)\omega^2}{k_0 k_2 k_3 k_5}; \quad Q(\omega) = -\frac{\omega - T_1 T_0 \omega^3}{k_0 k_2 k_3 k_5}.$$

Побудуємо криву D-розбиття в площині параметру k_4 при зміні частоти від $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4.8).

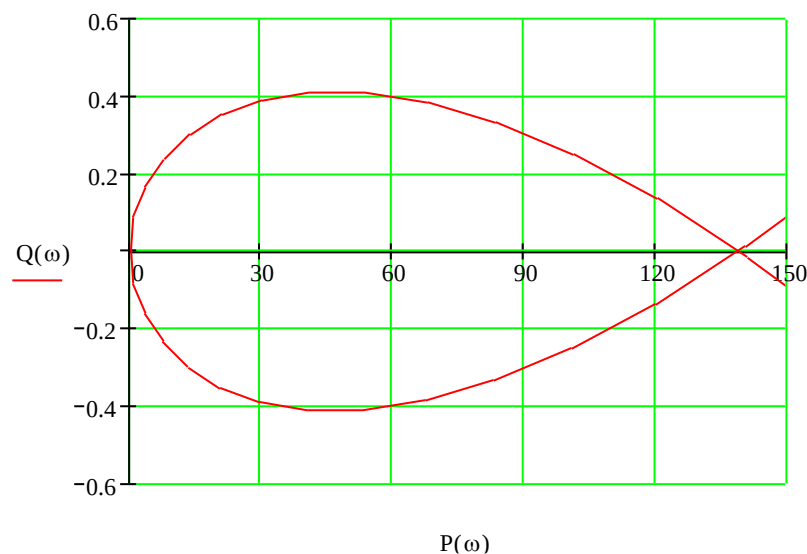


Рисунок 4.8 – D-розбиття в площині параметру k_4 .

З побудованої області стійкості можна визначити критичне значення коефіцієнта k_4 , яке в даному випадку дорівнює $k_{4кр} = 140$. Оскільки у стійкій системі всі корені розташовані ліворуч від уявної осі, при обході її від $-\infty$ до $+\infty$ ділянка стійкості буде знаходитися також ліворуч від побудованої кривої. Для зручності можна нанести штриховку на криву (рис. 8) зліва при русі від $-\infty$ до $+\infty$. Як видно, задане значення коефіцієнта підсилювача $k_4 = 100$ входить в зону стійкості, а значить для подальших розрахунків можна залишити задане значення цього параметра.

4.8.2 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

Стійкість замкнутої САР визначається за критерієм АФЧХ стійкої розімкнутої системи. Розімкнута система автоматичного регулювання вважається стійкою, якщо вона складається лише з стійких динамічних ланок (не має більше ніж одну інтегруючу ланку). Якщо розімкнута система є стійкою, то для забезпечення стійкості замкнутої системи необхідно і достатньо, щоб АФЧХ розімкнутої системи не перетинала точку з координатами $(-1, j0)$ при зміні частоти від 0 до ∞ (рис. 4.9). Варто зазначити, що на рис. 4.8 було змінено масштаб по уявній осі для точнішого визначення запасу по модулю Z_m , а запас по фазі Z_ϕ можна визначити з достатньою точністю лише з використанням засобів редактора MatCad [4].

Таким чином маємо: за критерієм Найквіста-Михайлова система стійка і запас стійкості за модулем $Z_m = 0,3$; за фазою $-Z_\phi = 1^\circ$.

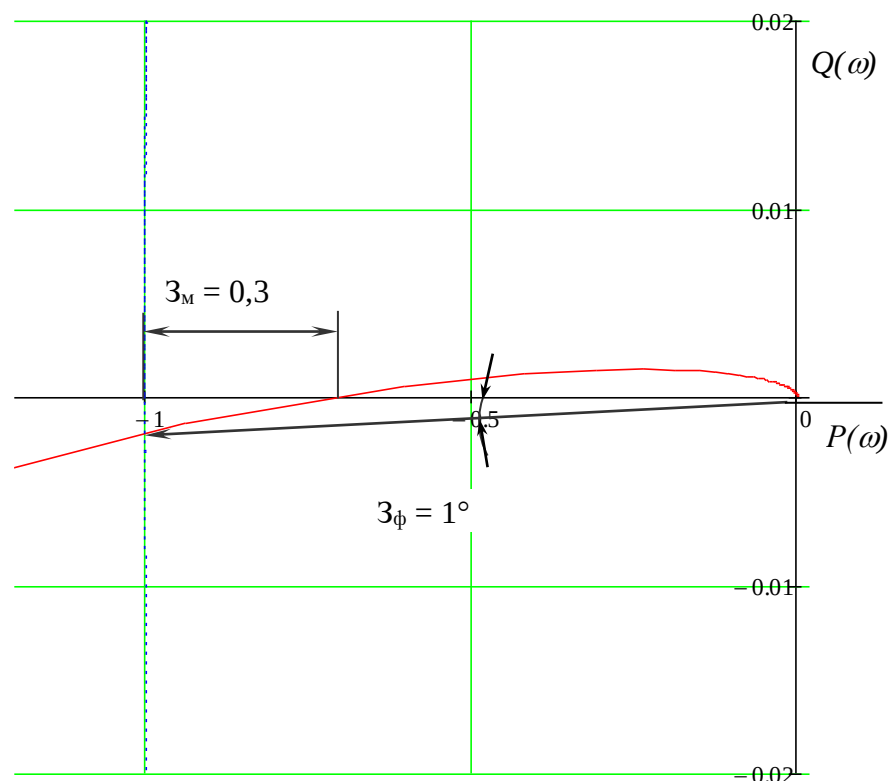


Рисунок 4.9 - Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

4.9 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

У цьому розділі визначимо запас стійкості за модулем і фазою, а також частоту зрізу. Для цього побудуємо логарифмічні АЧХ і ФЧХ розімкнутої системи та проаналізуємо їх взаємне розташування (рис. 4.10).

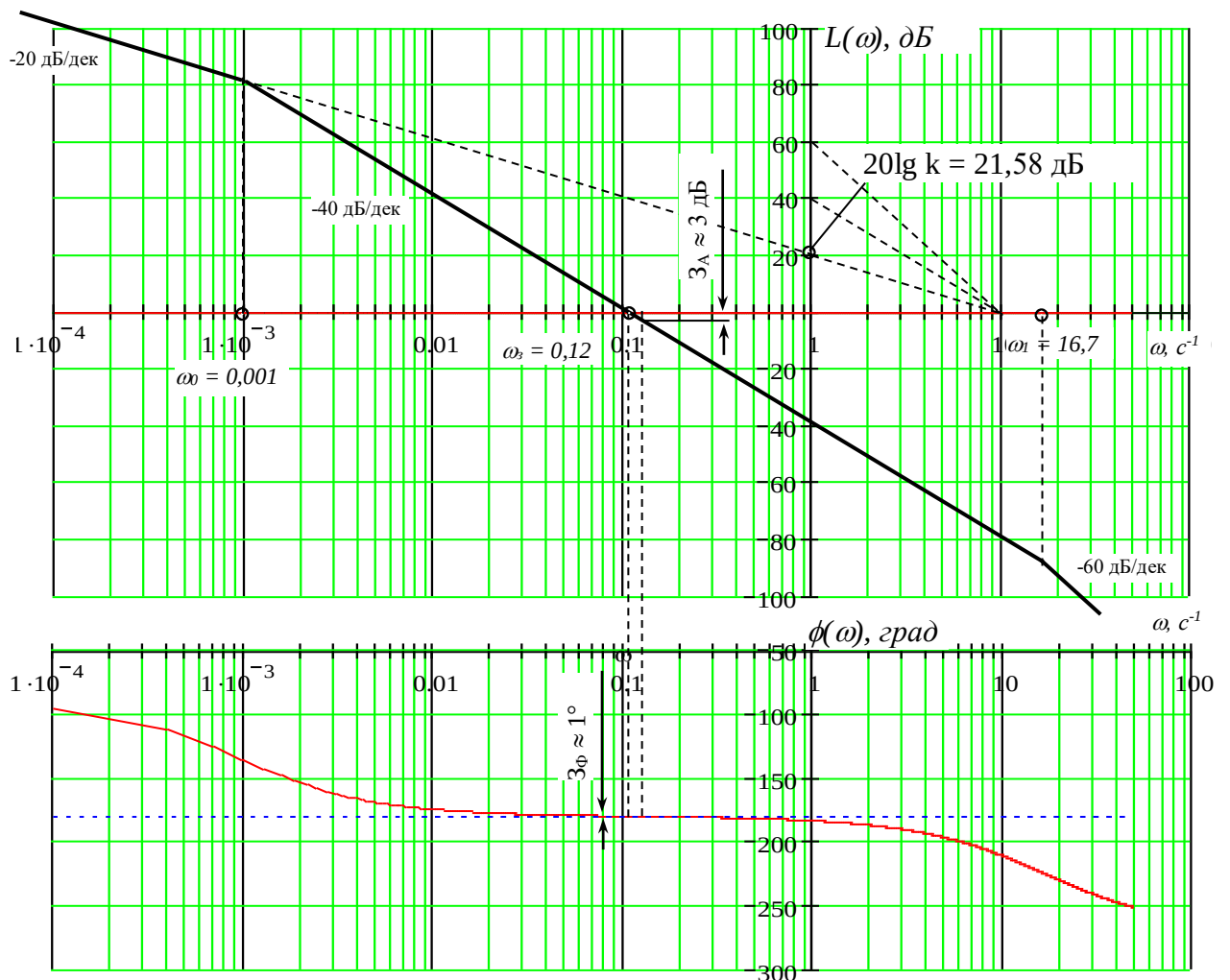


Рисунок 4.10 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_z = 0,12 \text{ c}^{-1}$, звідки можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови, $t_p = \frac{2\pi}{\omega_z} = 52,36 \text{ с}$; запас стійкості по амплітуді $z_A \approx 3 \text{ дБ}$, запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 1^\circ$.

4.10 Побудова перехідного процесу системи

Регульована величина в часі при подачі на вхід системи одиничного ступінчастого діяння описується залежністю [4]

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} P_3(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega \quad (4.16)$$

За даною залежністю за допомогою редактора Mathcad отримаємо графік перехідного процесу даної системи (рис. 4.11).

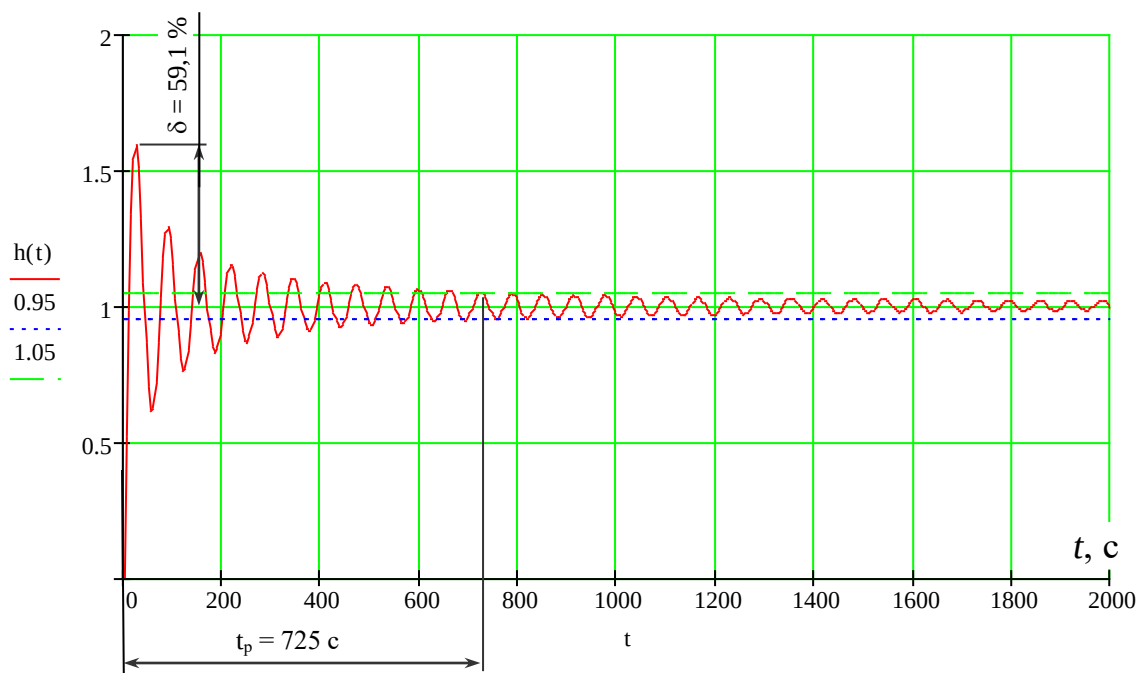
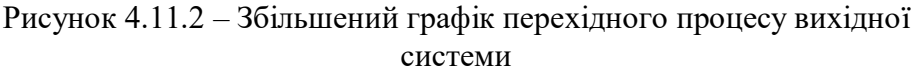


Рисунок 4.11.1 – Графік перехідного процесу вихідної системи



З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні показники якості системи:

- 49

- час наростання перехідного процесу $t_n = 10$ с – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення;
- декремент затухання перехідного процесу характеризує затухання перехідного процесу, це відношення відхилень сусідніх коливань $d = 2,02$.

Згідно вимог до системи, час регулювання для проведення її аналізу та синтезу приймається зменшеним на 30 % від отриманого, для розрахунків приймемо час регулювання, визначений по логарифмічній АЧХ через ω_s , тобто $t_p = 52,36$ с, зменшимо його на 30 %, отримаємо $t_p = 36,65$ с. Цим ми поставимо ще більш жорсткі умови.

4.12 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої оптимальної за швидкодією системи по вимогам, які пред'явлені до неї

Вимоги до синтезуємої САР: час регулювання $t_p = 36,65$ с; максимальне перерегулювання $\delta = 25\%$; запас стійкості за модулем не менше 15 дБ; за фазою не менше 30° . Для синтезу САР необхідно побудувати вихідну ЛАЧХ розімкнутої системи, бажану ЛАЧХ та ЛАЧХ коректуючого пристрою.

Побудова бажаної логарифмічної АЧХ виконується в кілька етапів [4].

Побудова в області низьких частот аналогічна до побудови ЛАЧХ незмінної системи. Тобто проводиться асимптота з нахилом -20 дБ/дек через точку з координатами $20 \lg k = 21,58$ дБ.

Побудова в області середніх частот – це найбільш відповідальна асимптота. В даному діапазоні логарифмічна АЧХ визначається заданими значеннями перерегулювання та тривалістю перехідного процесу. З міркувань наближення реального процесу до оптимального (за швидкодією) нахил середньої частотної асимптоти бажаної ЛАЧХ вибирається -20 дБ/дек. Вибір частоти зрізу ω_s (частота, при якій ЛАЧХ перетинає вісь частот) виконують на підставі нерівності $\omega_{s\min} \leq \omega_s \leq \omega_{s\text{opt}}$. Для того, щоб задовольнити вимоги до якості системи, необхідно, щоб ω_s була менше частоти зрізу $\omega_{s\text{opt}}$, яка визначається за

максимальним прискоренням координати і величиною керуючого ступінчатого сигналу. Крім того дана частота ω_z повинна бути більше $\omega_{z\min}$, яка вибирається за заданим значенням максимального пере регулювання δ_m та тривалістю регулювання t_p . По заданому значенню δ_m за допомогою кривої $\delta = f(P_{z\max})$ номограми визначаємо відповідне значення $P_{z\max}$. Потім по значенню $P_{z\max}$ за допомогою кривої $t_p = f(P_{z\max})$ визначаємо значення $\frac{3\pi}{t_p}$. Цю величину прирівнюємо до заданого значення $t_p = 36,65$ с і з отриманого рівняння визначаємо частоту зрізу $\omega_{z\min} = 0,257$ с⁻¹.

Вибрану частоту зрізу $\omega_z = 1,4$ с⁻¹ (дещо збільшену), наносимо на графік (рис. 4.12). Потім будуємо середньочастотну асимптоту, провівши її через точку ω_z на осі абсцис з нахилом -20 дБ/дек.

По відомому значенню $P_{z\max} = 1,2$ дійсної частотної характеристики знаходимо мінімальне значення $P_{z\min}$, використовуючи наближене співвідношення для типової дійсної частотної характеристики $P_{z\min} = 1 - P_{z\max} = -0,2$.

Для забезпечення необхідного запасу стійкості системи по амплітуді і фазі треба продовжити середньочастотну асимптоту ліворуч і праворуч на певну величину. Запаси стійкості знаходять по номограмам $L(\omega) = f(\varphi)$ при P_z дорівнює константі – це колові діаграми, P_z – значення дійсної частотної характеристики замкнутої системи. Отже по номограмі знаходимо лінії, які відповідають $P_{z\max} = 1,2$ і $P_{z\min} = -0,2$. Ці криві симетричні відносно осі абсцис. Запас стійкості по амплітуді знайдемо, провівши до цих кривих горизонтальні дотичні і прочитавши відповіді на осі ординат, $L_1 = 15$ дБ, $L_2 = -15$ дБ, тобто середньочастотну асимптоту треба продовжити ліворуч і праворуч до ординат L_1 та L_2 і лише після цього спрягати з сусідніми ділянками.

Запас стійкості по фазі γ знайдемо, провівши вертикальні дотичні до кривих $P_{z\max} = 1,2$ і $P_{z\min} = -0,2$ і відрахувавши значення кута в градусах від дотичної до лінії -180° . В даному випадку $\gamma = 45^\circ$.

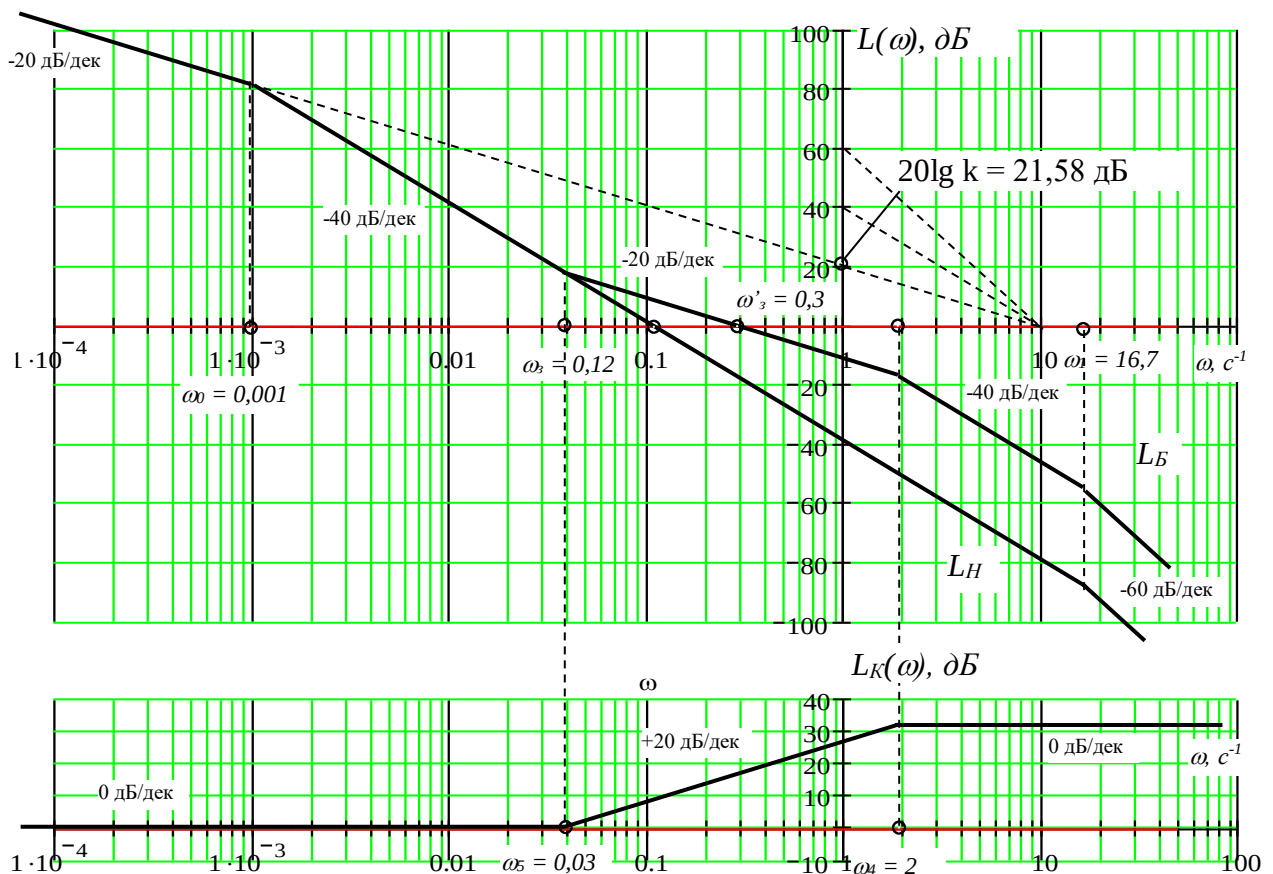


Рисунок 4.12 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ коректуючого пристрою

4.13 Синтез коректуючого пристрою САР за логарифмічними частотними характеристиками

ЛАЧХ коректуючого пристрою визначаємо як різницю бажаної та незмінної ЛАЧХ $L_K(\omega) = L_B(\omega) - L_H(\omega)$ (рис. 4.12). За виглядом ЛАЧХ коректуючого пристрою обираємо схему коректуючої ланки і записуємо її передаточну функцію [4].

Передаточна функція такого чотиріполюсника у загальному вигляді:

$$W_{\text{кп}}(p) = \frac{k(T_5 p + 1)}{(T_4 p + 1)}$$

де $T_4 = 1/\omega_4 = 1/2 = 0,5 \text{ с}$;

$T_5 = 1/\omega_5 = 1/0,03 = 33,33 \text{ с}$

Підставивши у рівняння загального виду сталі часу, матимемо передаточну функцію коректуючого пристрою:

$$W_{\text{кп}}(p) = \frac{1 \cdot (33,33p + 1)}{(0,5p + 1)}$$

Обчислюємо параметри R_1 , R_2 , C схеми коректуючої ланки за допомогою формул:

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}; \quad T_5 = R_1 C; \quad T_4 = k \cdot T_5 = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}$$

Для отримання номіналів елементів коректуючого пристрою задавшись $C = 2 \times 10^{-6} = 2$ мкФ, отримано такі значення опорів:

$$R_1 = T_5 / C = 33,33 / 2 \times 10^{-6} = 16,67 \times 10^6 = 16,67 \text{ МОм.}$$

$$\text{Далі, через те, що } k = T_4 / T_5 = 0,5 / 33,33 = 0,015 \text{ і } k = \frac{R_2}{R_2 + R_1},$$

$$R_2 = \frac{k R_1}{1 - k} = \frac{0,015 \cdot 16,67 \times 10^6}{1 - 0,015} = 253,858 \times 10^3 \approx 254 \text{ кОм.}$$

Вибираємо номінали резисторів зі стандартного ряду опорів $R_1 = 16 \text{ МОм}$, $R_2 = 270 \text{ кОм}$.

Вибрана коректуюча ланка є активним чотирьохполюсником. Для забезпечення $k = 1$ необхідно прийняти $R_{\text{зв.з}} = R_1 + R_2 \approx 16,270 \text{ МОм}$. Зі стандартного ряду опорів приймаємо $R_{\text{зв.з}}$ номіналом 16 МОм .

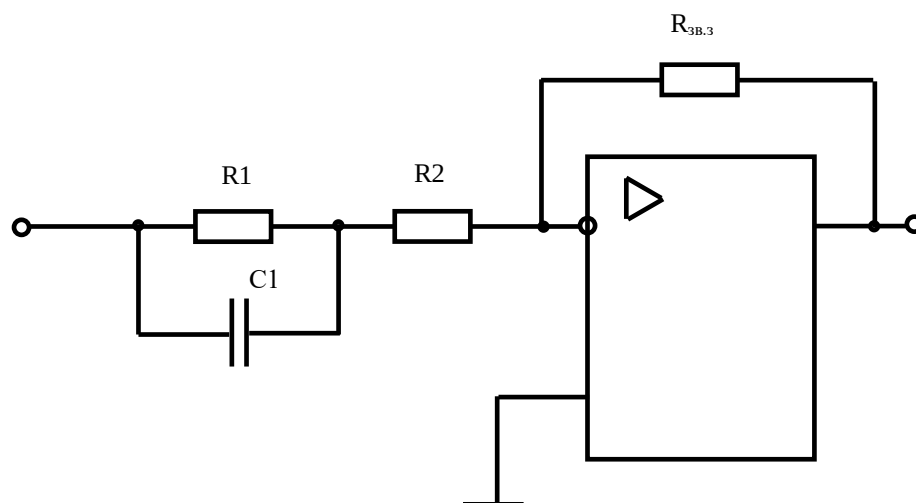


Рисунок 4.13 – Схема коректуючого пристрою

4.14 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР

Запишемо передаточну функцію замкнутої скорегованої системи

$$W_{зк}(p) = \frac{k(T_5 p + 1)}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) \cdot (T_4 p + 1) + k \cdot (T_5 p + 1)} \quad (4.17)$$

Провівши заміну $p = j\omega$, виділимо дійсну частину передаточної функції замкнутої скорегованої системи для побудови дійсної частотної характеристики. Дану операцію доцільно здійснити засобами математичного редактора Matcad, для чого слід записавши значення коефіцієнтів підсилення, сталих часу динамічних ланок та вираз передаточної функції в робочій області екрана, ввести наступний вираз:

$$P(\omega) := \text{Re}(W(\omega)).$$

Це дасть змогу побудувати дійсну частотну характеристику скоректованої системи (рис. 4.14).

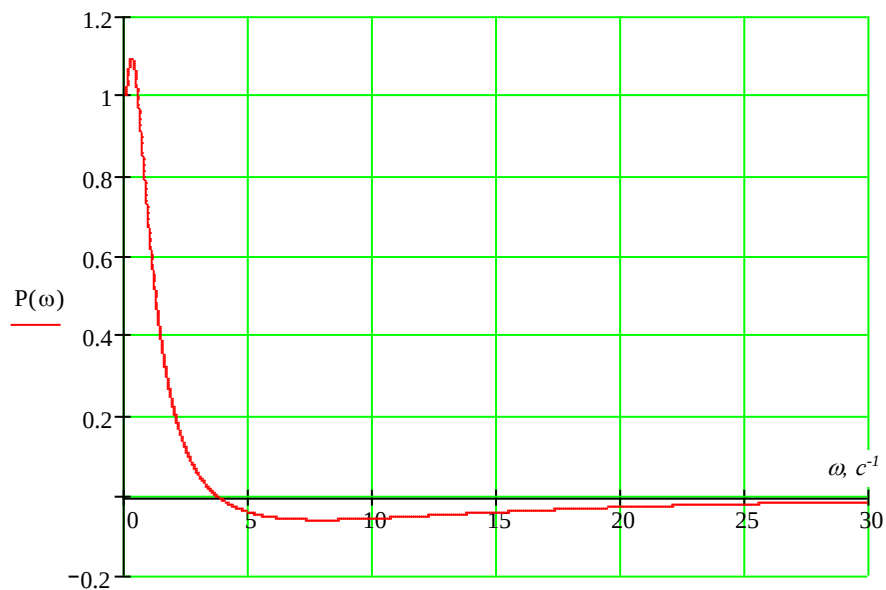


Рисунок 4.14 – Дійсна ЧХ замкнутої скорегованої системи.

Побудуємо криву перехідного процесу синтезованої системи (рис. 4.15).

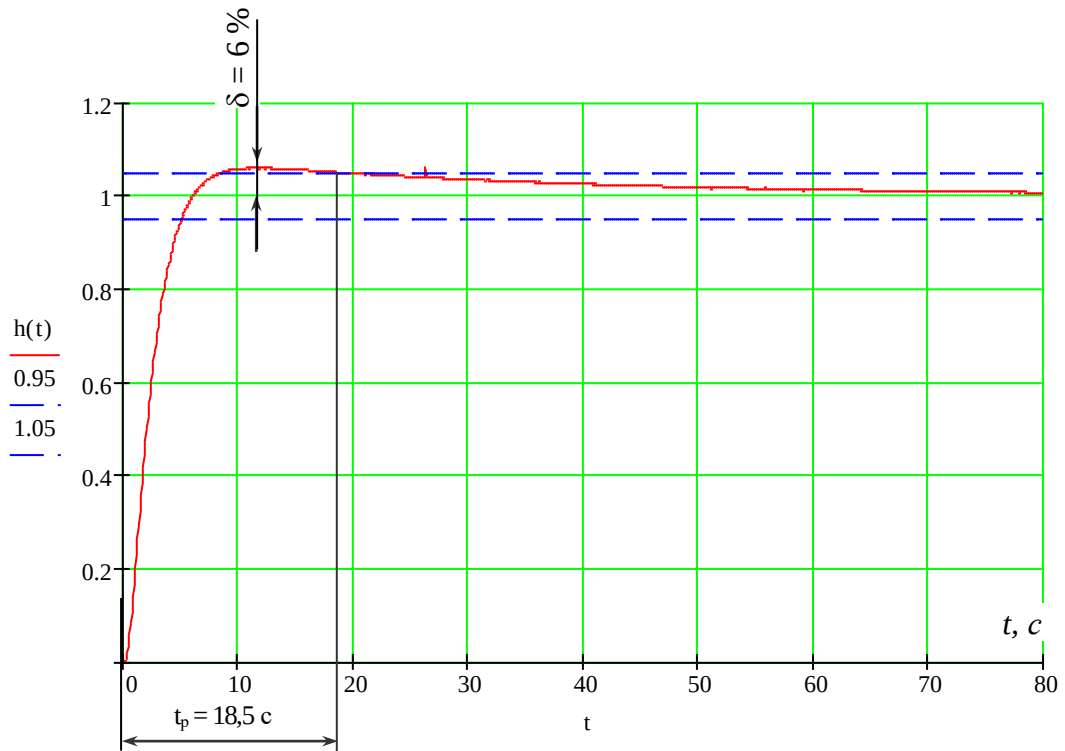


Рисунок 4.15 – Графік перехідного процесу системи, розробленої шляхом синтезу

4.15 Визначення прямих показників якості синтезованої системи

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні прямі показники якості системи:

- перерегулювання $\delta = 12,8 \%$;
- час наростання перехідного процесу (на рис. 4.15 не наведено)
 $t_n = 11,1$ c;
- час регулювання $t_p = 18,5$ c;
- час досягнення першого максимуму (на рис. 4.15 не наведено)
 $t_{\max} = 6,1$ c;
- перехідний процес аперіодичний з перерегулюванням.

Таким чином, реалізація отриманого виразу передаточної функції коректуючого пристрою задовольнить задані вимоги по якості системи.

5 МОНТАЖ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ

5.1 Етапи проведення монтажних робіт

Монтажні роботи включають в себе встановлення несучих та опорних конструкцій, а також приладів і автоматизованих систем, що є основою для належної роботи технологічного обладнання. Одним із важливих етапів є підключення цих систем до електричних мереж, що забезпечує їх функціонування. До монтажних робіт також належать установка пультів управління, прокладання електропроводки, монтаж датчиків, вимірювальних приладів, регуляторів, виконавчих механізмів та інших елементів автоматизації. Всі ці етапи необхідні для створення надійної та ефективної автоматизованої системи, що забезпечує стабільну роботу технологічних процесів.

5.1.1 Монтаж електричних проводок

Для монтажу електропроводки в системах автоматизації зазвичай застосовуються кабелі та проводи з алюмінієвими жилами мінімального перерізу, що відповідають вимогам проекту. Електричні проводи укладаються відповідно до розробленого проекту як відкритим, так і закритим способом. При відкритій прокладці кабелі та проводи монтуються безпосередньо на поверхнях будівельних конструкцій, станинах обладнання, а також на панелях. У випадку закритої прокладки проводи або кабелі укладаються по стінах, стелях та підлогах, що дозволяє забезпечити естетичний вигляд і захист від механічних пошкоджень. Після завершення монтажу проводки проводиться її огляд для перевірки якості виконання робіт, а також випробування, щоб гарантувати її належну роботу в експлуатації.

5.1.2 Монтаж пультів керування

Пульти повинні постачатися до монтажу вже підготовленими для встановлення та підключення зовнішніх електричних і трубопроводних з'єднань.

На пультах мають бути встановлені всі необхідні апарати та комплектуючі, змонтована проводка, передбачені конструкції для кріплення вхідних кабелів, а також підготовлені кріпильні елементи для фіксації пультів на об'єкті. Для приладів та апаратів, які монтуються в процесі виконання робіт, на пультах повинні бути передбачені місця для їх розміщення та кріплення. Після завершення монтажу здійснюється перевірка відповідності виконаних робіт проектним вимогам та технічним умовам [4].

5.1.3 Монтаж засобів автоматизації та приладів

Прилади та засоби автоматизації допускаються до монтажу лише після проходження стендової перевірки. Вони повинні супроводжуватися актом про стендову перевірку, оформленим за встановленою формою. Під час стендової перевірки перевіряють окремі характеристики та елементи приладів і засобів автоматизації, щоб виявити можливі несправності, викликані умовами зберігання та транспортування. Окрім цього, перевіряють цілісність електричних ланцюгів, опір ізоляції, а також функціонування регулюючих частин і перемикачів [4].

Стендову перевірку приладів і засобів автоматизації проводить замовник або спеціалізовані організації, що займаються їх налагодженням, дотримуючись вимог інструкцій Держстандарту та рекомендацій виробників цих приладів і засобів автоматизації [4].

Вимоги до виконання встановлюються після розміщення регулюючих органів. При їх монтажі необхідно забезпечити правильне взаємне розташування осей та валів, що виключає нахили та збої в роботі при сполученні елементів [3].

Перед монтажем приладів і засобів автоматизації в технологічне обладнання необхідно попередньо очистити та вимити це обладнання. Після завершення монтажних робіт, але до передачі об'єкта замовнику і початку пусконаладжувальних робіт, проводиться індивідуальне випробування змонтованих приладів та засобів автоматизації. Це випробування здійснює монтажна організація, а в окремих випадках можуть бути залучені фахівці з налагоджувальних організацій [4].

Зазвичай індивідуальне випробування приладів і засобів автоматизації проводять на вимкненому технологічному обладнанні. Метою випробування є перевірка коректності та якості монтажу, а також забезпечення належної роботи приладів і засобів автоматизації.

Під час перевірки оцінюють: відповідність виконаних монтажних робіт проекту, правильність розташування приладів і регуляторів, коректність їх підключення до схем вимірювання та регулювання, а також правильність виконаних електричних проводок; відповідність значень опору електричних проводок параметрам, зазначеним у паспортах або інструкціях до приладів; при необхідності коригують зовнішній опір за допомогою підгоночних котушок на затискачах приладів; перевіряють правильність функціонування приладів і засобів автоматизації при подачі на вхід приладу штучного сигналу (електричного або пневматичного); а також перевіряють комплектність та належне оформлення супровідної документації [4].

Після завершення індивідуальних випробувань приладів і засобів автоматизації складається акт про завершення монтажних робіт, оформлений за встановленою формою. У акті зазначають результати перевірок, відповідність монтажу проектним вимогам, а також підтверджують правильність функціонування всіх приладів і засобів автоматизації. Акт підписується представниками монтажною організацією та замовника, що підтверджує завершення етапу монтажу і готовність системи до подальших пусканалагоджувальних робіт.

5.2 Налагоджувальні роботи

Налагоджувальні роботи представляють собою комплексну сукупність процедур, що включають перевірку, регулювання, налаштування, введення в експлуатацію та забезпечення стабільної роботи систем керування технологічними процесами в заданих умовах. Основною метою налагодження є досягнення та підтримка встановлених технічних характеристик і показників функціонування всіх елементів автоматичної системи управління технологічними

процесами. Це включає оптимізацію роботи приладів, забезпечення точності регулювання та стабільності роботи системи, а також виконання налаштувань, що дозволяють системі адаптуватися до змінних умов експлуатації. Для засобів та систем вимірювання основними нормувальними показниками є метрологічні характеристики, які визначають точність, надійність та похибки вимірювань, що безпосередньо впливають на результати вимірювань. В автоматичних системах регулювання до таких показників якості регулювання відносяться максимальне динамічне відхилення, перерегулювання та час регулювання.

Максимальне динамічне відхилення характеризує найбільше відхилення від заданого значення в процесі налаштування системи. Перерегулювання визначає величину коливань системи після досягнення стабільного стану, що може призводити до нестабільної роботи. Час регулювання відображає швидкість реакції системи на зміни вхідних параметрів або впливу збурювань. Усі ці показники є важливими для забезпечення високої ефективності та точності автоматичних систем регулювання технологічних процесів. Якість налагоджувальних робіт безпосередньо визначає надійність та ефективність приладів і систем автоматизації. Включення системи здійснюється поступово: спочатку за окремими каналами технологічного контролю і вимірювання, а потім через окремі контури регулювання. Лише після цього включається вся система в цілому. Першочергово налагоджуються схеми сигналізації, захисту та блокування, оскільки ці функції забезпечують безпечну і стабільну роботу системи.

Заключний етап налагодження, коли системи контролю та автоматичного керування налаштовуються на реальний технологічний режим, є найважливішим і найбільш відповідальним етапом усього процесу налагодження. Цей етап вимагає ретельного налаштування та точності, оскільки саме він забезпечує правильне функціонування системи в реальних умовах виробництва, що безпосередньо впливає на ефективність і безпеку автоматизованих процесів.

ВИСНОВКИ

Розроблювана система автоматичного управління витяжною вентиляційною установкою є подібною до раніше розроблених аналогічних пристроїв, але має суттєву відмінність – вона побудована на новому вільно програмованому контролері п'ятого покоління. Це забезпечує більш високий рівень гнучкості та ефективності в управлінні, а також можливість адаптації до різноманітних умов експлуатації та сучасних вимог автоматизації. Використання такого контролера дозволяє значно покращити швидкодію системи, знизити витрати на обслуговування та вдосконалити функціональні можливості.

Використання програмованого контролера дає змогу автоматично керувати вентиляційною установкою, що забезпечує більш точне підтримання заданих параметрів, зокрема температури, порівняно з ручним управлінням. Це дозволяє значно покращити стабільність і ефективність роботи системи. Крім того, програмований контролер дає можливість у будь-який час підключити додаткові системи, розширити функціональність за допомогою модулів або змінити налаштування роботи системи відповідно до вимог замовника. Включення контролера в систему дозволяє інтегрувати аналогічні рішення, впроваджувати диспетчеризацію та об'єднувати всі компоненти в єдину мережу для зручності моніторингу та керування.

Було розроблено ряд схем, зокрема: принципова електрична схема, функціональна схема системи, схема зовнішніх з'єднань, схема розташування обладнання у вентиляційній камері, а також схема компонування щита керування. Окрім того, було здійснено вибір датчиків, регулюючих клапанів, пристроїв захисту та виконавчих механізмів, що забезпечують ефективну роботу та надійність системи. Були визначені передаточні функції для розімкненої та замкненої систем, а також отримано характеристичне рівняння для замкнутої системи. Побудовані частотні характеристики розімкненої системи, що дозволило оцінити стійкість замкненої системи. Завдяки цьому було визначено запаси стійкості за фазою і модулем за допомогою критерію Найквіста-Михайлова, що

забезпечило точну оцінку стійкості системи в різних режимах роботи. Була побудована область стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра, що дозволило провести детальний аналіз поведінки системи при зміні параметрів. За допомогою логарифмічної амплітудно-частотної характеристики (ЛАЧХ) та логарифмічної фазо-частотної характеристики (ЛФЧХ) розімкненої системи було оцінено якість регулювання замкнутої системи, що дозволило визначити її ефективність і стабільність в умовах реального функціонування.

Був побудований перехідний процес замкнутої системи автоматичного регулювання (САР) та визначені основні показники її якості. На основі цих показників було визначено час регулювання системи, що став важливою вимогою для її синтезу. Побудовано бажану логарифмічну амплітудно-частотну характеристику (ЛАЧХ) розімкненої системи відповідно до пред'явлених вимог, після чого здійснено синтез коректуючого пристрою для досягнення необхідних характеристик. Крім того, була побудована крива перехідного процесу для синтезованої системи, та визначені показники її якості, які успішно задовольняють встановлені вимоги щодо ефективності і стабільності роботи системи.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

КВП – контрольно-вимірювальні прилади;
МК – мікроконтролер;
ОР – об’єкт регулювання;
АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика;
РЕА – радіоелектронна апаратура;
ПП – підсилювач потужності;
ЛСА – локальна система автоматики;
ІМС – інтегральна мікросхема;
ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;
САР – система автоматичного регулювання;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
КОК – контрольно-обчислювальний блок;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
САННіП – санітарні норми і права;
ВБ – вимірювальний блок;
САК – система автоматичного керування;
ЛФЧХ – логарифмічна фазова-частотна характеристика.

Список літератури

1. «Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга вторая. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Издание четвертое, переработанное и дополненное». -Киев, Будивельник, 1976. – 325 с.
2. Холмов О.С., Долганов М.А. Электрические измерение неэлектрических величин. – Киев: “Техника”, 1981. – 185 с.
3. Гостев В.И., Стеклов В.К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами. – К.: ”Радиоаматор” 1998. – 704 с.
4. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
5. Теория автоматического управления, ч.1. Теория линейных систем автоматического управления. Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высш. шк., 1997. – 325 с.
6. Кондратець В.О. Теорія і технічні засоби систем: Підручник. – К.: Вища шк., 1993. – 319 с.
7. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. – Киев: “Наукова думка”, 1981. – 940 с.
8. Мікропроцесорна техніка. За ред. Т.О. Терещенко. Київ, «Політехніка», 2004. – 225 с.
9. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Комп’ютеризоване управління в гнучких системах», «Проектування пристроїв та систем управління». Укладачі: В.О. Версаль, С.В. Березюк. Кіровоград, 2004.
10. Мікропроцесори та мікроЕОМ у виробничих системах. В.М. Локажук. Київ, «Академія», 2002. – 325 с.
11. Проектування, монтаж, налагодження та експлуатація засобів автоматики. Проектування пристроїв та систем управління. Укладачі: Версаль В.О., Зубенко В.О., Кіровоград, 2006. – 125 с.