

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри АВП
к.т.н., доцент
_____Дідик О.К.
«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Система керування процесом підігріву конденсату в
трубчастій печі при виготовленні бензину»**

**«Control system for condensate heating in a tube furnace for
petrol production»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу
групи АК-23 М-1 (1,4)
174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»
_____Голубєв І.М.
«__» _____ 2024 р.

Керівник роботи
д.т.н., професор
_____Мацуї А.М.
«__» _____ 2024 р.

Рецензент

«__» _____ 2024 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Призначення та область застосування системи керування процесом підігріву конденсату.....	6
1.1 Опис процесу стабілізації конденсату.....	6
1.2 Опис трубчастої печі.....	15
2 Обґрунтування прийнятого принципу побудови системи керування процесом підігріву конденсату та обґрунтування обраних проектних рішень.....	19
2.1 Обґрунтування прийнятого принципу побудови системи керування.....	19
2.2 Розробка функціональної схеми автоматичного регулювання температури в трубчастій печі підігріву конденсату.....	20
2.3 Вибір датчика температури для системи автоматичного регулювання.....	23
2.4 Обґрунтування вибору робочого органу регулювання подачі газу в камеру згорання трубчастої печі.....	28
2.5 Обґрунтування вибору робочого органу регулювання подачі повітря в камеру згорання трубчастої печі.....	33
2.6 Обґрунтування вибору системи керування асинхронним двигуном.....	36
2.7 Обґрунтування вибору мікропроцесора системи автоматичного регулювання.....	39
3 Розробка структурної схеми системи керування процесом підігріву конденсату та знаходження математичних моделей її складових.....	42
3.1 Розробка структурної схеми системи керування.....	42
3.2 Статична характеристика регулюючого клапану подачі газу.....	47
3.3 Розрахунок статичних характеристик вентиляторної установки подачі повітря в піч підігріву конденсату.....	48
3.4 Математична модель двигуна.....	51
3.5 Розрахунок схеми заміщення.....	56

4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу.....	59
4.1 Дослідження динамічних характеристик автоматизованої системи керування процесом підігріву конденсату.....	59
4.2 Визначення стійкості автоматизованої системи керування процесом підігріву конденсату.....	66
5 Опис організації робіт, що пов'язані із застосуванням автоматизованої системи керування процесом підігріву конденсату.....	70
5.1 Побудова електропостачання системи автоматичного керування.....	70
5.2 Визначення площі перерізу жил кабелів.....	72
5.3 Перевірка обраних кабелів по падінню напруги.....	74
5.4 Вибір автоматичних вимикачів.....	75
5.5 Перевірка захисту проводів електричних ліній від струмів короткого замикання.....	77
Висновок.....	72
Література.....	73
Додаток А. Охорона праці.....	76

ВСТУП

Газовий конденсат є важливою сировиною для нафтопереробної галузі, яка має високу цінність. Він являє собою суміш вуглеводнів зі складною структурою, що характеризуються високою температурою кипіння. Ця речовина утворюється в процесі вилучення природного газу з газоконденсатних родовищ і слугує хімічною основою для багатьох технологічних процесів у промисловості.

Газовий конденсат за своїми властивостями близький до нафти, але відрізняється відсутністю смолистих компонентів і асфальтенів. Його поділяють на стабільний і нестабільний типи. Нестабільний конденсат являє собою рідину, яка містить розчинені газоподібні вуглеводні. Такий продукт спрямовують на переробку для видалення домішок і вилучення легких вуглеводнів (C1–C4) відповідно до стандартів, передбачених нормативними документами. До небажаних домішок зазвичай належать вода, що може містити розчини інгібіторів корозії чи утворення гідратів, хлориди, сірковмісні сполуки та механічні забруднення.

Газовий конденсат використовують як сировину для виробництва моторних палив і в різних процесах органічного синтезу в промисловості.

В Україні ухвалено закон «Про енергозбереження», який спрямований на зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів, а також стимулює впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій та автоматизацію складних виробничих процесів. Наразі компанії, що спеціалізуються на нафтохімії та переробці нафтопродуктів, активно працюють над проєктуванням і введенням в експлуатацію обладнання великої потужності. Такі установки розробляються з урахуванням мінімізації енергетичних витрат, щоб підвищити ефективність отримання газового конденсату.

У зв'язку з тим, що значна частина технологічного обладнання в нашій країні застаріла як у фізичному, так і в моральному аспекті, трубчасті печі установок для стабілізації конденсату не стали винятком. Вони працюють із підвищеним споживанням палива та демонструють продуктивність, що

значно нижча за паспортні характеристики. У такій ситуації особливо актуальним є вирішення питання модернізації цього обладнання.

Основною метою випускної кваліфікаційної роботи є оптимізація процесу виробництва стабільного бензину через впровадження автоматизованої системи управління, що сприятиме зниженню технологічних втрат та підвищенню ефективності роботи обладнання.

1 Призначення та область застосування системи керування процесом підігріву конденсату

1.1 Опис процесу стабілізації конденсату

Сучасні підприємства активно прагнуть до автоматизації виробничих процесів. Основною метою такого підходу є підвищення обсягів та темпів випуску продукції. Одночасно це дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, що особливо важливо у масовому виробництві для забезпечення стабільної та високої якості готових виробів. Заводи, які займаються переробкою газового конденсату, також впроваджують ці технології. У складі виробничого цеху можна виділити такі ключові компоненти й обладнання (рис. 1.1):

- ректифікаційні колони;
- трубчасті печі;
- насосні станції;
- повітряні холодильники;
- сепаратори;
- аміачні випаровувачі;
- ємності і трубопроводи.

Процес виробництва здійснюється за такою технологією: основна технологічна схема установки стабілізації газового конденсату представлена на рис.1.1. Вихідна сировина – нестабільний газовий конденсат, що надходить із розподільчих ємностей E801-1 – E801-8 установки 80. У цих ємностях проводиться попереднє очищення сировини, яке включає видалення води, метанолу, механічних домішок і солей. Після цього очищена сировина транспортується через електрозасувку № 16 та регульований клапан № 14 до ємності E-108. Процес транспортування здійснюється під тиском до 16 атм., за температури від 2 до 10 °C, при цьому об'єм подачі становить 150 тонн на годину.

Електрозасувка № 16 працює у режимі вмикання та вимикання (керування) вручну за допомогою штифтового перемикача, розташованого безпосередньо на місці її встановлення. Регулювання клапана № 14 здійснюється автоматично приладом-регулятором рівня, який також забезпечує виведення показників на прилад Р-130.

Нестабільний газовий конденсат із резервуара Е-108 подається на всмоктувальну сторону насосів Н-101-1 – Н-101-3.

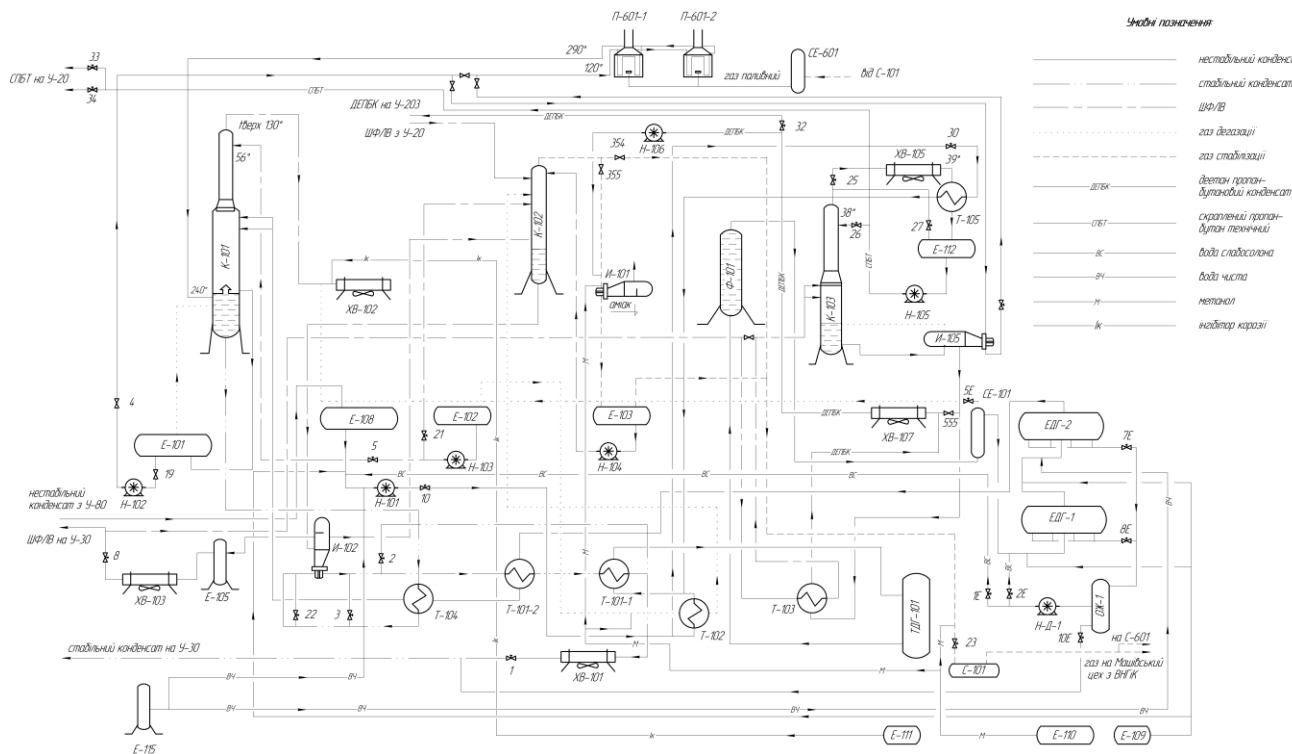


Рисунок 1.1 – Технологічна схема установки стабілізації конденсату

Насоси типу Н-101 оснащені системою захисту, яка включає:

- датчики тиску, встановлені на всмоктувальній та нагнітальній лініях, що передають відповідні сигнали до пристрою Реміконт Р-130;
- термометри опору для контролю температури масла в картері насоса. У разі виявлення підвищеної температури, сигнал надходить на мікропроцесор Реміконт Р-130, який забезпечує захисні заходи. При цьому система також виводить сигналізацію на персональний комп'ютер (ПЕОМ).

Для зменшення кількості солей у сировині, до потоку нестабільного газового конденсату, який подається насосами Н-101 через насос-дозатор Н-

107 з резервуара E-115, додається умовно очищена вода. Це забезпечує зниження концентрації солей у процесному середовищі.

Газовий нестабільний конденсат за допомогою насосів Н-101 подається у трубний простір теплообмінника Т-102, де він нагрівається завдяки тепловій енергії, переданій від газового потоку, що надходить із збірника зрошення. Після нагріву температура конденсату досягає 38 °С. Для контролю температури на виході з Т-102 використовуються ртутний термометр і термометр опору, які передають дані на мікропроцесорний пристрій Реміконт Р-130, забезпечуючи точний моніторинг процесу.

Перед теплообмінником Т-102 на трубопроводі, що подає сировину, встановлено масовий витратомір, який забезпечує контроль кількості поданої сировини, а його показники передаються на обчислювальний пристрій. На цьому ж трубопроводі розміщено регулювальний клапан №10, що відповідає за керування подачею сировини до колони К-101. Крім того, тут встановлений об'ємний витратомір, дані з якого надходять до мікропроцесорного контролера Реміконт Р-130, звідки вони передаються на персональний електронний обчислювальний пристрій (ПЕОМ).

Газовий нестабільний конденсат з теплообмінника Т-102 спрямовується в міжтрубний простір теплообмінника Т-101-1. У цьому теплообміннику він нагрівається до 90 °С завдяки потоку стабільного газового конденсату. Після нагрівання в теплообміннику Т-101-1 нестабільний конденсат подається до термодегідратору ТДГ-101 для подальшої обробки.

У термодегідраторі ТДГ-101 здійснюється процес температурного розпаду емульсії типу «вода в конденсаті», що дозволяє відокремити воду, яка далі відводиться у каналізаційну систему. Рівень у термодегідраторі відстежується за допомогою спеціальних рівневих скляних трубок.

Температуру газового нестабільного конденсату на вході до термодегідратору визначають ртутний термометр та термометр опору, які передають показання на систему Реміконт Р-130.

Тиск у термодегідраторі вимірюється за допомогою відповідного датчика, що надсилає інформацію до операторної, де показники обробляються мікропроцесором Реміконт Р-130. Для забезпечення стабільності процесу тиск у ТДГ підтримується на рівні не вище 19 атмосфер.

Газовий конденсат, що виходить із термодегідратору ТДГ-101, подається у фільтрувальний пристрій Ф-101. Усередині цього фільтра розміщені кільця Рашига розміром 25 x 25 x 3 мм, які забезпечують уловлювання механічних часток. Для моніторингу тиску на вході та виході встановлено місцеві технічні манометри. У разі засмічення насадки механічними домішками передбачена можливість перенаправлення потоку сировини, оминаючи фільтр Ф-101.

Після проходження через фільтр Ф-101, потік сировини спрямовується до міжтрубного простору теплообмінника Т-101-2. У цьому апараті відбувається нагрівання сировини за рахунок передачі тепла від конденсату газового стабільного, який надходить із кип'ятильника (випаровувача) И-102. Температура нагрітої сировини після теплообмінника досягає 130 °С. Цей показник контролюється за допомогою термометра опору, дані якого передаються на прилад Реміконт Р-130, а також дублюються за допомогою ртутного манометра для додаткового контролю.

Потік сировини, що виходить із теплообмінника Т-101-2, проходить через трубний простір теплообмінника Т-104. Там він нагрівається до температури 160 °С за рахунок теплової енергії, яку забезпечує потік конденсату газового стабільного, отриманого з колони К-101. Після цього нагрітий потік спрямовується до середньої частини колони К-101.

Міжтрубні простори теплообмінників Т-101-1, Т-101-2 та Т-104 обладнані запобіжними клапанами типу ППК 4-25 x 40, які забезпечують

захист від перевищення допустимого тиску. У разі підвищення тиску надлишковий газ відводиться в свічку для безпечного скидання.

Температура сировини, яка подається в колону, контролюється за допомогою ртутного термометра та термометра опору, сигнал з якого передається на прилад Реміконт Р-130. Регулювання температури на вході в колону К-101 здійснюється за допомогою клапана, що перенаправляє потік газового стабільного конденсату з випарника И-102, минаючи теплообмінники Т-101-1 і Т-101-2.

Колона стабілізації К-101 складається з 2 частин:

- верхньої, діаметром 2,4 м;
- нижньої, діаметром 3,2 м.

У колоні К-101 використовуються клапанні тарілки як контактні пристрої. Залежно від складу сировини, подача здійснюється на одну з тарілок: 13-ту, 15-ту або 17-ту. Тиск усередині апарата підтримується на рівні до 16 атмосфер.

Рівень у внутрішньому об'ємі колони К-101 регулюється за допомогою клапана №1, встановленого на трубопроводі, через який конденсат стабільного газу транспортується на склад (установка 30). Також передбачена опція подачі частини холодного живлення безпосередньо в колону К-101, минаючи теплообмінники Т-101, Т-102 і Т-104.

Для випаровування в колоні К-101 застосовуються трубчасті печі П-601-1 і П-601-2 (установка 60). Нестабільний газовий конденсат, нагрітий до температури 250°C, конденсується на глухій тарілці колони К-101. Ця тарілка безпосередньо сполучена з буферною ємністю Е-101, забезпечуючи ефективність процесу.

Рідка фаза через насоси Н-102 типу Е-101 подається у кількості, що може досягати 150 тонн за годину, до трубчастих печей. Для регулювання рівня в буферній ємності використовується клапан № 4, встановлений на лінії транспортування конденсату від насосів Н-102 до трубчастої пічної установки.

Парова фаза, що виходить з апарата Е-101, спрямовується в нижню частину колони К-101, під спеціальну глуху тарілку. У цю ж зону подається парорідинна суміш, яка надходить з установки трубчастих печей, маючи температуру, що досягає 300°C. Пара, піднімаючись по колоні, проходить процес розділення, тоді як газовий стабільний конденсат відводиться з апарата через низку теплообмінників (Т-104, Т-101-1), випаровувач І-102 і повітряний холодильник ХВ-101. Охолоджений до температури 40°C конденсат прямує на зберігання в резервуари установки газового стабільного конденсату (об'єкт 30).

Пара, що виходить через верхню частину колони при температурі в межах 110–140 °С, проходить через шлемову трубу та спрямовується для охолодження до повітряного холодильника ХВ-102. У цьому теплообміннику відбувається часткове конденсація пари, після чого вона охолоджується до температури 72 °С і подається в ємність зрошення Е-102.

На вході сировини в піч П-601-1 (2) встановлена засувка з електроприводом №2 (2а), призначена для екстреного припинення подачі сировини в змійовики трубчастої печі. Контроль витрати сировини в кожному потоці змійовика печі П-601-1 (2) здійснюється за допомогою діафрагми, оснащеної датчиком перепаду тиску, який передає дані на мікропроцесорний контролер Реміконт Р-130.

Паливний газ для спалювання надходить із сепаратора С-601 під тиском у межах 10–15 атм. Його подача здійснюється через пневматичний клапан-відсікач, електроприводну засувку та регулятор тиску РДУК 35/50-2Н. Далі газ спрямовується до керованого регулювального клапана, яким управляє пристрій Р-130. Витрату паливного газу в печі контролюють за допомогою вимірювального вузла, що включає діафрагму перепаду тиску та відповідний датчик. Після проходження через регулювальний клапан газ надходить до пальників підігрівника, де його тиск знижується до 1 атм.

У випадку аварії в трубчастій печі подається водяна пара.

Для забезпечення подачі паливного газу до трубчастих підігрівників встановлено спеціальний вузол редукування, який отримує газ із Машівського газопромислу. Газ, що надходить із магістрального газопроводу під тиском 50 атмосфер, проходить процес двоступеневого редукування на цьому вузлі, знижуючи тиск до необхідного рівня для подальшого використання.

На вході до вузла редукування передбачено встановлення вимірювального обладнання, яке включає діафрагму та датчик перепаду тиску, що передає сигнал на обчислювальний пристрій. З цієї ж магістралі здійснюється відбір газу для перетискування між апаратами, що використовуються для подачі сировини на всі об'єкти. Потік газу проходить через регулювальний клапан (позиція 21) і спрямовується до споживача.

Частина газу, видобутого на Машівському газопромислі, подається через регулювальний клапан (поз. 21) у трубопровід для транспортування паливного газу середнього тиску. До цього ж трубопроводу надходить газ, що виділяється під час дегазації на установці стабілізації (уст. 10). Далі газ із середньотискового трубопроводу спрямовується через регулятор прямої дії (поз. 20) у трубопровід із нижчим тиском. Завдяки регулятору прямої дії забезпечується стабільність тиску на рівні до 6 атмосфер після нього. Газ низького тиску передається на сепарацію до сепаратора С-601, де відбувається конденсація рідини.

На установці трубчастих печей розміщені дві дренажні ємності Е-601-1 та Е-601-2. До них періодично потрапляє конденсована рідина, яка збирається із сепаратора С-601 та змішувачів трубчастих підігрівників П-601-1 і П-601-2. Для переміщення сировини використовується газ, який спрямовується на установку 10, а надлишковий газ викидається через свічу СВ-601.

Рідка фаза, перекачувана насосами Н-103 із ємності Е-102, подається на верхню частину колони К-101 і виконує функцію зрошення. Кількість подачі зрошення регулюється клапаном № 5 у межах 1–15 т/год. Тиск у резервуарі

Е-102 стабілізується в діапазоні 10–16 атм за допомогою клапана № 16, який здійснює скидання газу на факел.

Парова фаза з апарата Е-102 у кількості до 15 тисяч кілограмів на годину подається через теплообмінник Т-102, де відбувається її часткова конденсація. Потік надходить до колони К-102 із температурою близько 20 °С і тиском до 15,5 атмосфер. Рідка фаза, що утворюється в Е-102, транспортується насосами Н-103 (1-3) безпосередньо до колони К-102, оминаючи теплообмінники Т-102 і Т-103, і використовується як живлення. Регулювання подачі сировини до завантаження здійснюється через клапан № 21.

Температура сировини після теплообмінника Т-102 визначається за допомогою ртутного термометра на місці проведення вимірювань, а також термометром опору, який передає дані на пристрій контролю Реміконт Р-130.

Колона для деетанізації К-102 має діаметр 1400 мм. Як контактний елемент використовуються клапанні тарілки. У ректифікаційній колоні К-102 здійснюється подальше фракціонування вуглеводневої суміші.

З верхньої частини колони К-102 відводиться пара з температурою в діапазоні від -2 до -25 °С разом із газом дегазації. Ця суміш надходить у сепаратор С-101, а звідти спрямовується до трубопроводу паливного газу, що веде на Машівську УКПГ. Тиск у колоні К-102 регулюється до значення 15 атм за допомогою клапана № 23. Кількість газу дегазації вимірюється спеціальним датчиком витрати, показники якого передаються на вторинний вимірювальний пристрій.

Бензинова фракція після охолодження у повітряних холодильниках ХВ-107 надходить до аміачного випаровувача И-101, де охолоджується до температури від -20 до -15 °С. Після цього вона спрямовується в ємність Е-103. Рідка фаза з резервуара Е-103 за допомогою насосів Н-104 подається на верхню частину колони К-102 як зрошення. Об'єм зрошення регулюється в межах від 1 до 17 т/год через клапан № 6.

Рідка складова конденсується в кубі колони К-102, яка сполучена з випарником И-102. У випарнику здійснюється розділення газової частини та широкої фракції легких вуглеводнів (ШФЛВ). Газова суміш, нагріта до 105 °С, повертається в колону К-102 для подальшої переробки, тоді як ШФЛВ з температурою 95 °С надходить до буферної ємності Е-105. Звідти вона спрямовується як сировина для ректифікаційної колони К-103.

Температура в нижній частині колони К-102, яка становить 85°С, регулюється за допомогою клапанів №3 та №22. Ці клапани забезпечують перепускання конденсату стабільного газового із колони К-101 та апарата Т-104, обходячи випарник И-102. Рівень рідини в кубовій зоні колони К-102 контролюється регулюючим клапаном №8, що встановлений на трубопроводі, який подає ШФЛВ для завантаження колони К-103.

Температуру пари та широку фракцію легких вуглеводнів (ШФЛВ), що виходять з випаровувача И-102 через міжтрубний простір, контролюють за допомогою термометрів опору. Дані з цих приладів передаються на мікропроцесорну систему управління Реміконт Р-130.

ШФЛВ, яка виділяється з кубової частини колони К-102 при тиску в діапазоні 12–15 атм і температурі 65–80°С, надходить у трубний простір теплообмінника Т-103. У цьому теплообміннику, використовуючи тепло газостабільного бензину, що циркулює з Н-105, фракція нагрівається до температури приблизно 100°С. Після нагрівання вона спрямовується для живлення колони К-103.

Колона К-103 використовується для отримання пропан-бутанової фракції та стабільного газового бензину, який служить компонентом для подальших технологічних процесів.

Колона К-103 складається з двох частин:

- верхня, діаметром 1,4 м;
- нижня, діаметром 1,8 м.

Сировина для живлення колони К-103 подається на 17-ту та 18-ту тарілки. Тиск у колоні підтримується в діапазоні від 7 до 15 атмосфер.

З верхньої частини колони відводиться пара з температурою в межах 35–70°C, яка проходить первинне охолодження в повітряному охолоджувачі ХВ-105, де температура знижується до діапазону 25–50°C. Далі цей потік додатково охолоджується у теплообміннику Т-105, де досягає температури 20–40°C завдяки використанню частини газового нестабільного конденсату, що подається після насосів Н-101. Регулювання температури здійснюється за допомогою термометра опору, сигнал з якого подається на регулюючий клапан №30. Після завершення процесу охолодження пропан-бутанова фракція надходить до рефлексної ємності Е-112.

З резервуара Е-112 частина пропан-бутанової фракції (ПБФ) спрямовується для зрошення колони К-103 за допомогою насоса Н-105. Об'єм поданого зрошення контролюється за допомогою об'ємного витратоміра, який передає дані на систему Реміконт Р-130 з подальшим відображенням інформації на персональній електронній обчислювальній машині (ПЕОМ). Регулювання подачі здійснюється клапаном №26. Інша частина ПБФ із резервуара Е-112 подається на склад пропан-бутанової фракції (обладнання установки 20) через вимірювальний вузол. Рівень у резервуарі Е-112 регулюється клапанами №34 та №35, керування якими здійснюється за допомогою датчика рівня. Для забезпечення необхідної температури в нижній частині колони К-103 використовується випарник И-105, де температура контролюється кількістю теплоносія, поданого через регулювальний клапан №31, керований датчиком температури, в трубний простір.

Для отримання пропану колона К-103 налаштовується на роботу в альтернативному температурному режимі.

- температура верхньої частини 20 – 30°C
- температура нижньої частини 104 – 119°C

У колоні здійснюється поділ широкої фракції легких вуглеводнів на компоненти: пропан і стабільний газовий бензин. З верхньої частини колони пар пропану, нагрітий до 20–30°C, проходить процес охолодження в

повітряному холодильнику ХВ-105, де температура знижується до 10–20°C. Після цього потік направляється в теплообмінник Т-105, де його температура зменшується до 5–10°C за допомогою часткового охолодження нестабільним газовим конденсатом, що подається після насосів Н-101. Температура регулюється за допомогою термометра опору, який з'єднаний із клапаном регулювання № 30. Заключним етапом є подача охолодженого потоку пропан-бутану в рефлюксну ємність Е-112 для подальшої обробки.

У резервуарі Е-112 частина пропану направляється для зрошення колони К-103 за допомогою насоса Н-105. Об'єм зрошення контролюється за допомогою об'ємного витратоміра, дані з якого передаються на мікропроцесор Р-130 з подальшим відображенням інформації на персональному комп'ютері. Регулювання подачі здійснюється за допомогою керованого клапана. Інша частина пропану з резервуара Е-112, проходячи через вимірювальний вузол, транспортується до складу пропан-бутану (установка 20).

Нижня частина колони К-103, яка безпосередньо з'єднана з міжтрубним простором випаровувача І-105, а також кубовим залишком — стабільним газовим бензином (компонентом), переміщається через випаровувач І-105 при температурі 130–150°C у міжтрубний простір теплообмінника Т-103. Там відбувається часткове охолодження речовини до температури 80–90°C. Після проходження через теплообмінник Т-103 бензин стабільний газовий спрямовується в повітряний холодильник ХВ-107, де температура знижується до 30–50°C. Частина охолодженого стабільного газового бензину, досягнувши температури 30–50°C, через клапан № 30а надходить у два аміачні конденсатори І-101, розташовані паралельно. У трубному просторі цих конденсаторів, за рахунок кипіння аміаку з температурою близько -40°C у міжтрубному просторі, бензин охолоджується до -10–15°C. Після цього насосами Н-104 рідина подається для зрошення колони К-102. Для підтримки стабільного рівня витрати зрошення використовується регулювальний клапан № 6. Інша частина стабільного

газового бензину за допомогою регулювальних клапанів № 32 і № 32а спрямовується на склад готової продукції (установка 203).

1.2 Опис трубчастої печі

Трубчаста піч є високотемпературним термотехнологічним обладнанням, оснащеним робочою камерою, яка ізольована від зовнішнього середовища. Цей пристрій призначений для нагрівання вуглеводневих матеріалів за допомогою теплоносія, а також для реалізації хімічних процесів, які відбуваються завдяки теплу, що виділяється під час згоряння палива безпосередньо в конструкції печі. Трубчасті печі використовуються у випадках, коли необхідно нагріти середовище (наприклад, вуглеводні) до температур, що перевищують межі, досяжні за допомогою пари, тобто понад 230 °С. Хоча початкові витрати на встановлення такого обладнання можуть бути значними, експлуатаційна ефективність забезпечує нижчу собівартість переданого тепла, якщо піч спроектована належним чином. Як паливо для таких печей можуть використовуватися відходи різних технологічних процесів, що дозволяє не тільки ефективно використовувати тепло від їх згоряння, але й вирішувати питання утилізації цих відходів, знижуючи екологічне навантаження.

Трубчасті печі широко використовуються в нафтохімічній галузі, де вони служать для нагрівання до високих температур та здійснення реакційних перетворень рідких і газоподібних продуктів нафтопереробки, таких як піроліз і крекінг. Крім того, ці установки знайшли своє місце і в хімічній промисловості. Цей тип печей належить до апаратів безперервного циклу роботи, які забезпечують зовнішній вогневий обігрів для стабільного теплового впливу.

Сучасна піч — це високотехнологічний пічний комплекс, що працює в синхронізованому режимі. Вона включає в себе не лише саму конструкцію печі, але й інтегровані засоби, які забезпечують ефективність пічного

процесу. До її складу також входять автоматизовані системи контролю, регулювання та управління, які координують роботу печі та підтримують оптимальні умови для її функціонування.

На рис.1.2 представлено наступні елементи: 1 – камера для поглинання радіації, 2 – зона конвекційного теплообміну, 3 – пристрій для спалювання пального (пальник), 4 – трубчастий теплообмінник (змійовик), 5 – вентиляційний димар, 6 – шар вогнетривкого облицювання.

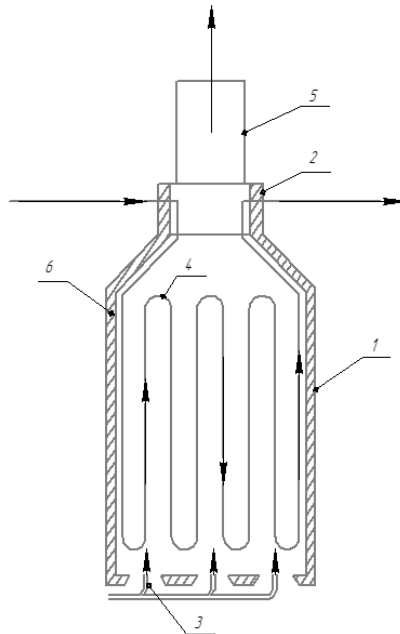


Рисунок 1.2 – Трубчаста піч

Робота печі базується на процесі спалювання газу, що здійснюється через пальники, розташовані в нижній частині радіаційної камери. Пальники є складними пристроями, які забезпечують змішування газу з повітрям, що дозволяє досягати високої ефективності й економічності спалювання без зайвих витрат. Після згоряння газу переміщуються з радіаційної камери в конвекційну зону, а потім прямують до димоходу, звідки через димову трубу потрапляють у атмосферу. Продукт, що обробляється, подається у вигляді одного або кількох потоків у труби конвективного змійовика, проходить через трубчасті екрани радіаційної камери й нагрівається до заданої температури. Відповідно до технологічного процесу, нагрітий матеріал виходить із печі, готовий до подальшого використання. Тепловий вплив на матеріали у робочій камері є ключовим етапом технологічного циклу.

Центральним елементом трубчастої печі вважається радіаційна секція, яка виконує функцію камери згоряння, поєднуючи в собі ефективність і багатофункціональність.

У радіаторній секції передача тепла відбувається переважно через випромінювання, що пояснюється високою температурою газів у цій зоні печі. Теплообмін за допомогою конвекції в цьому випадку має значно менший внесок у загальний процес передачі тепла. Це пов'язано з тим, що швидкість руху газів, які обтікають труби, залежить переважно від локальної різниці густини газів, а природна конвекція забезпечує незначний рівень теплообміну. Основним джерелом теплової енергії, яка засвоюється у радіаційній секції трубчастих печей, є продукти згоряння палива. Виділене при горінні тепло поглинається трубами цієї секції, які виконують функцію поглинаючої поверхні. Водночас футерувальна поверхня в радіаційній зоні виконує роль відбивної поверхні. Теоретично вона не поглинає тепла, яке передається їй газовою сумішшю всередині печі, а лише спрямовує його випромінюванням до трубчастого змішувача. Загалом, у камері радіації засвоюється приблизно 60-80% тепла, що використовується в печі. Решта теплової енергії передається в конвективній секції.

Температура газів, що залишають радіаційну секцію, зазвичай є значною. Це тепло можна ефективно застосовувати в подальшому, зокрема в конвективній зоні печі, для оптимізації енергетичних процесів.

Камера конвекції призначена для ефективного використання теплової енергії, що міститься в продуктах згоряння, які залишають радіаційну секцію з температурою, зазвичай у межах 700-900°C. У цій камері тепло передається сировині переважно шляхом конвекції, а частково завдяки випромінюванню, що виникає через триатомні компоненти димових газів. Розміри конвективної секції зазвичай розраховуються таким чином, щоб забезпечити, аби температура продуктів згоряння, які потрапляють у димар, перевищувала температуру нагрітих речовин на вході в піч приблизно на 150 °C. Через це теплове навантаження на труби в конвективній секції нижче, ніж у

радіаційній, що пов'язано з меншою тепловіддачею від димових газів. Для підвищення ефективності теплопередачі зовнішня поверхня труб іноді оснащується додатковими елементами, такими як поперечні або поздовжні ребра, шипи тощо.

Нагріту вуглеводневу сировину спочатку направляють через змійовики, розташовані в конвекційній камері, після чого вона переходить у змійовики радіаційної камери. Такий протиточний рух між сировиною і гарячими продуктами згоряння палива забезпечує максимальне використання теплової енергії, що утворюється під час його спалювання.

Регулювання температури теплоносія здійснюється вручну шляхом подачі палива в камеру згоряння та керування положенням заслінки повітропроводу.

Щоб забезпечити стабільне та економічне нагрівання нестабільного газового конденсату з мінімізацією витрат ручної праці, доцільно створити автоматизовану систему електроприводу. Вона повинна регулювати подачу газу та повітря до топки трубчастої печі, забезпечуючи автоматичний контроль і підтримку заданих технологічних параметрів температури.

На рис.1.3 зображено загальний вигляд трубчастої печі, яка використовується для нагрівання нестабільного газового конденсату.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд трубчастої печі

2 Аналіз та обґрунтування принципу, який було обрано для створення системи управління процесом підігріву конденсату, а також пояснення і детальне обґрунтування прийнятих проектних рішень.

2.1 Обґрунтування прийнятого принципу побудови системи керування

Для стабілізації конденсату використовують різноманітні технологічні методи, серед яких особливу ефективність демонструє ректифікація у стабілізаційних колонах. Основна мета цього процесу полягає у переробці сировини з поділом на пропан-бутанову фракцію, яка надалі використовується для виробництва високоякісного бензину.

Аналіз технологічного процесу стабілізації газового конденсату свідчить, що одним із ключових факторів, які впливають на якість кінцевих продуктів, є температура підготовленої сировини. Вона досягається за допомогою трубчастої печі, де нагрівання регулюється відповідно до встановлених параметрів. Показник температури підігріву безпосередньо залежить від хімічного складу сировини та її кількісних характеристик. Оскільки процес стабілізації газового конденсату відбувається безперервно, а склад вихідної сировини може змінюватися під час виробничого циклу, необхідно забезпечити автоматичну корекцію температури нагріву для досягнення оптимальних умов роботи обладнання.

Розглянувши конструкцію та ступінь автоматизації трубчастої печі, яка функціонує в технологічній лінії стабілізації конденсату в селі Базилевщина, можна зробити висновок, що для підвищення ефективності роботи обладнання, покращення якості одержуваних пропан-бутану та газового бензину, а також зменшення надмірного споживання теплоносія, доцільно розробити автоматизовану систему регулювання температурного режиму. Це можливо шляхом оптимізації подачі газу й повітря в камеру згоряння, що забезпечить стабільність процесу та економію енергоресурсів.

Отже, для підвищення якості бензину та пропан-бутанової суміші варто вжити таких заходів:

- Створити регульований механізм подачі необхідного обсягу повітря та газу в камеру згоряння трубчастої печі, призначеної для нагріву газового конденсату.
- Розробити систему управління для механізму подачі повітря в камеру згоряння трубчастої печі, яка забезпечує нагрівання газового конденсату.
- Провести аналіз динамічних процесів, що виникають у розробленому механізмі подачі.
- Запропонувати комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації зазначеного обладнання.
- Виконати економічну оцінку рентабельності та ефективності впровадженої модернізації.

2.2 Розробка функціональної схеми автоматичного регулювання температури в трубчастій печі підігріву конденсату

Автоматичне управління — це процес формування керуючих дій, які забезпечують цілеспрямовану роботу певного об'єкта з дотриманням заданих параметрів точності, без потреби у прямому втручанні людини.

Система автоматичного керування (САК) складається з об'єкта керування та керуючого пристрою.

Керуючий пристрій являє собою комплекс технічних засобів, які забезпечують контроль і регулювання технологічних параметрів об'єкта керування.

Об'єкт керування (ОК) — це пристрій або група пристроїв, які виконують технічний процес і потребують зовнішнього впливу, організованого у відповідності з визначеним алгоритмом їх роботи.

Функціональна схема системи автоматичного регулювання — це структура, яка включає елементи, аналізовані з точки зору їх функціональної

ролі. До таких компонентів належать чутливі, перетворювальні, підсилювальні, виконавчі та регулювальні елементи. Кожен окремий компонент такої схеми може бути замінений відповідним автоматичним пристроєм, що виконує аналогічну функцію.

Функціональна схема системи автоматичного регулювання температури в трубчастій печі, яка використовується для підігріву конденсату, відповідно до основних принципів теорії автоматичного управління представлена на рис.2.1.

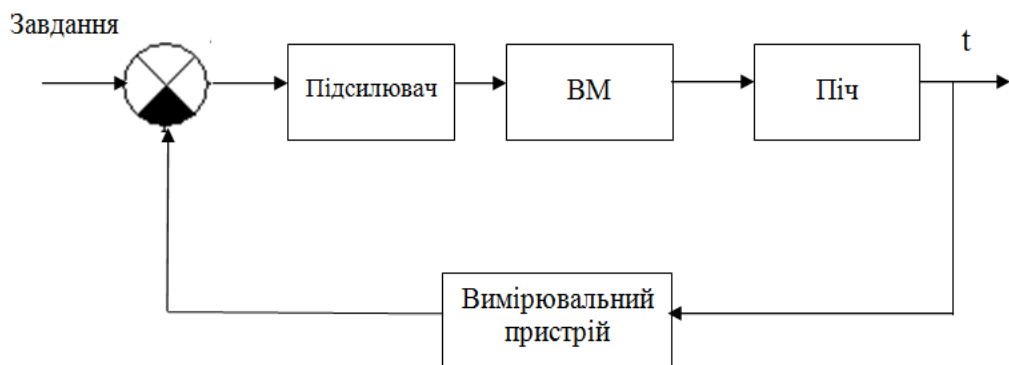


Рисунок 2.1 – Функціональна схема автоматизованої системи регулювання температури в трубчастій печі, яка використовується для підігріву конденсату.

Принцип функціонування системи регулювання полягає в наступному. У разі досягнення необхідної температури терморезистор забезпечує формування сигналу з нульовим рівнем. При підвищенні температури на виході утворюється сигнал невідповідності, який пропорційний величині відхилення від заданого значення. Цей сигнал через підсилювач передається на мікроконтролер, де проходить обробку. Далі оброблений сигнал спрямовується на електроклапан, який регулює витрату газу, та на тиристорний перетворювач частоти, що керує обертами двигуна, відповідального за подачу повітря. У результаті система автоматично коригує подачу палива: зменшує витрату газу шляхом часткового закриття клапана та знижує швидкість обертання радіального вентилятора, що подає повітря. У випадку зниження температури вихідний сигнал змінює знак на

протилежний, що призводить до зворотної реакції системи: клапан поступово відкривається, а частота обертання двигуна зростає, забезпечуючи необхідну компенсацію.

Для впровадження запропонованого рішення потрібно визначити та обрати ключові компоненти, які будуть складати основу проекрованої системи.

2.3 Вибір датчика температури для системи автоматичного регулювання

Температура (від латинського слова *temperatura*, що означає «належне поєднання» або «нормальний стан») — це скалярна фізична величина, яка відображає середній рівень кінетичної енергії частинок у макроскопічній системі, розподіленої на один ступінь свободи.

Температура, як поняття, легко сприймається інтуїтивно, оскільки вона асоціюється зі станами тепла і холоду. Однак її вимірювання, тобто співвідношення з певною температурною шкалою і вираження у вигляді числового значення, є досить складним методологічним завданням. Безпосередньо визначити температуру неможливо. У процесі нагрівання або охолодження матеріальних об'єктів відбуваються зміни їхніх фізичних характеристик, таких як розміри (довжина, об'єм), густина, еластичність, електропровідність тощо. Для вимірювання температури можна використовувати будь-яку з цих властивостей, якщо відома її залежність від температурного режиму.

Тіло, яке використовується для вимірювання температури, називається термометричним, а пристрій, що здійснює вимірювання, називають термометром. Щоб забезпечити можливість точного визначення температури різними способами, враховуючи зміну властивостей термометричних тіл, термометри потребують калібрування. Цей процес здійснюється із застосуванням температурних шкал. Основу таких шкал становлять реперні

точки – особливі значення температури, які фіксуються для подальшого використання в розрахунках.

Людство створило безліч пристроїв і способів для вимірювання температури різних об'єктів. Існує величезна кількість реалізацій цих пристроїв, але, незважаючи на таке різноманіття, вибір датчика для мікроконтролерного проєкту не є надто складним завданням. Головне — розуміти ключові особливості кількох базових методів вимірювання температури.

Існують різні види датчиків температури, основні з них:

- Термометр опору

Найбільш простим і популярним варіантом температурного сенсора є термометр, який працює на основі зміни електричного опору. Його функціонування базується на властивості металів змінювати свій питомий опір у залежності від температури. Це означає, що зі збільшенням температури опір провідника з металу також підвищується. Характеристику, яка описує цю залежність, називають температурним коефіцієнтом опору (ТКО). Для більшості металів цей коефіцієнт має позитивне значення.

Модернізований термометр опору представляє собою компактну спіраль, виготовлену з тонкого дроту з міді чи платини, захищену спеціальним корпусом. Щоб досягти максимальної точності вимірювань, довжину провідника обирають настільки великою, наскільки це можливо. Для спрощення використання усі подібні пристрої стандартизуються за параметром так званого "нульового опору" — це значення, яке термометр має при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. У промисловому виробництві можна знайти моделі з опором у 50, 100, 500 або 1000 Ом при нульовій температурі.



Рисунок 2.2 – Промисловий термометр опору

- Терморезистор опору

Терморезистори за своїм принципом роботи подібні до термометрів опору, проте їхня відмінність полягає в особливостях конструкції та технології виготовлення. Зовнішньо вони часто виглядають, як звичайні резистори. Існують терморезистори з позитивним температурним коефіцієнтом (позистори) і з негативним температурним коефіцієнтом (термістори). Їхній опір при нульовій температурі може досягати десятків кОм. Застосування таких елементів багато в чому аналогічне термометрам опору. Водночас суттєвим недоліком терморезисторів є їхня значна нелінійність характеристик, що може обмежувати точність вимірювань у певних випадках.

- Термопара

Принцип роботи термопар базується на появі термоелектрорушійної сили (ефект Зеебека) у точці з'єднання двох різнорідних металів. Величина цієї електрорушійної сили залежить від різниці температур між "гарячим" спаям і "холодним" кінцем, який є місцем підключення провідників до приладу для вимірювань. У нашій країні найбільш популярними є комбінації металів хромель-алюмель (міжнародне маркування — К, вітчизняне — ХА),

хромель-копель (тип L або ТХК), а також платина-родій-платина (тип S або ТПП). Крім них, застосовуються й інші варіанти термопар. Сигнал, який генерує термопара, являє собою напругу, що зазвичай вимірюється в мілівольтах. Для забезпечення точності вимірювань потрібно використовувати підсилювач. Також важливим аспектом є компенсація температури холодного кінця, що є другою ключовою особливістю застосування термопар. Третя вимога полягає у використанні спеціальних з'єднувальних кабелів, матеріал яких повинен відповідати матеріалу самої термопари. Ігнорування цього може спричинити збільшення похибки через появу додаткових спаїв. Основною перевагою термопар є здатність працювати в умовах високих температур. Наприклад, діапазон вимірювань для типу ХА становить від -180°C до 1300°C , а для деяких спеціалізованих моделей верхня межа може досягати навіть 1800°C . Водночас термопари мають порівняно високу похибку, яка складає приблизно 1°C . Крім того, у разі вимірювань у широкому температурному діапазоні необхідно враховувати нелінійність залежності сигналу.

- Напівпровідниковий датчик температури

Температурну залежність демонструють не лише метали, а й рп-перехід. При проходженні струму в прямому напрямку напруга на переході змінюється приблизно на 2 мВ за кожен градус зміни температури. Ця особливість дозволяє використовувати рп-перехід для вимірювання температури в діапазоні приблизно від -55 до $+150^{\circ}\text{C}$. Як датчики можуть слугувати стандартні діоди або один із рп-переходів у транзисторах. Схеми для вимірювання температури за допомогою таких компонентів подібні до тих, що використовуються з терморезисторами. Крім того, існують спеціалізовані пристрої, які вже є готовими вимірювальними системами з аналоговим вихідним сигналом, пропорційним температурі. Їх зручно застосовувати в поєднанні з АЦП (аналогово-цифровими перетворювачами) мікроконтролерів. Окрім аналогових сенсорів, доступні також напівпровідникові мікросхеми, які мають інтегрований АЦП і цифрові

інтерфейси (SPI, I2C, 1-Wire). Ці сенсори дають змогу створювати максимально прості вимірювальні схеми, хоча їхня точність, зазвичай, є дещо нижчою порівняно з аналоговими аналогами.



Рисунок 2.3 – Напівпровідниковий датчик температури DS1621

- П'єзоелектричний датчик

У пристроях цього типу ключовим компонентом виступає кварцовий п'єзорезонатор. Відомо, що п'єзоматеріали змінюють свої геометричні параметри під впливом електричного струму — це явище називають прямим п'єзоелектричним ефектом. У роботі резонатора до п'єзоматеріалу періодично прикладається напруга зі змінним полярним знаком, що змушує матеріал здійснювати коливальні рухи. Таким чином, формується п'єзорезонатор. Встановлено, що його частота коливань має прямий зв'язок із температурою, що лежить в основі функціонування п'єзоелектричних датчиків для вимірювання температури.

- Пірометри

Пірометри – це спеціалізовані безконтактні пристрої, які фіксують інфрачервоне випромінювання, що виходить від нагрітих об'єктів. Їх головною перевагою, порівняно з традиційними температурними датчиками, є відсутність потреби у прямому контакті з досліджуванним середовищем. Це дозволяє уникнути викривлення температурного поля, яке часто виникає при зануренні датчика, а також зберегти стабільність його технічних характеристик, що може бути порушена при прямому впливі середовища.

Температурний діапазон повністю охоплюється шістьма шкалами, кожна з яких застосовується для певного інтервалу температур. Для визначення температур у цих межах використовуються різні методики вимірювання, адаптовані до особливостей кожної шкали.

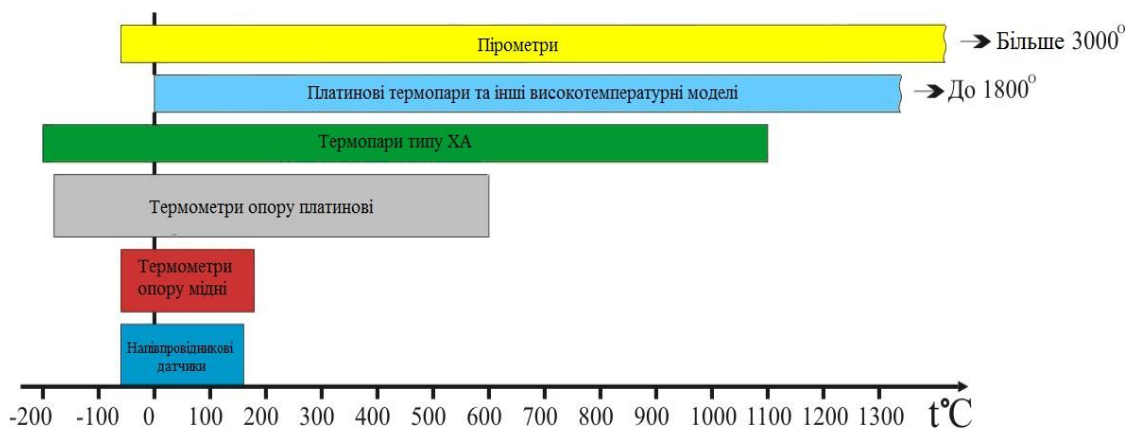


Рисунок 2.4 – Межі вимірювання температур різними типами датчиків

Відповідно до вимог проєктованої системи автоматичного регулювання, яка забезпечує роботу в температурному діапазоні від 0 до 290 °C, оптимальним варіантом є використання платинових термометрів опору. Їх доцільно встановити на вихідній трубі для контролю температури вже нагрітого конденсату.

Для температурного моніторингу в створюваній автоматизованій системі регулювання запропоновано застосувати термометр опору типу Pt-50. Цей датчик здатний вимірювати температури в діапазоні від -200 до 750°C, забезпечуючи високу точність і стабільність роботи в зазначених умовах.

Термометри цього типу працюють за принципом зміни електричного опору матеріалів, що залежить від температури. Для їх виготовлення використовуються провідники та напівпровідники, які характеризуються значним і стабільним температурним коефіцієнтом опору, а також високим питомим опором. Важливими вимогами до таких матеріалів є стійкість їх фізико-хімічних властивостей навіть за умов високотемпературного впливу.

Термометр конструктивно складається із зовнішнього корпусу з клемовою голівкою та чутливого елемента, розташованого всередині нього. Чутливий елемент виконаний у вигляді скляного каркаса, на якому закріплено біфілярну обмотку з дроту діаметром від 0,04 до 0,08 мм. Для підвищення точності роботи та зменшення інерційності термометра важливо

забезпечити максимально ефективний тепловий контакт між корпусом і чутливим елементом. Одним із рішень, яке частково відповідає цій вимозі, є використання «пелюсткової» конструкції чутливого елемента.

Сучасні термометри опору подібної конструкції характеризуються часом відгуку близько 0,05 с.

Діапазон вимірюваних температур залежить від використовуваного матеріалу і товщини дроту, а також від особливостей чохла та ізоляції. Мідні моделі придатні для експлуатації при температурах до +180 °С, тоді як платинові здатні функціонувати в умовах до +1300 °С. Основні характеристики стандартних термометрів опору подано у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні дані платинових термометрів опору

Верхня границя вимірюваної температури	Діаметр дроту в мм	Опір в Ом	Матеріал каркасу
120	0,05 – 0,07	46; 100	Пластмаса, скло
650	0,05 – 0,07	46; 100	Скло, слюда
1300	0,2 – 0,5	0,1; 0,5; 1,0	Плавлений кварц, кераміка

Основні характеристики терморезистора Pt-50, а також умови його використання викладені у наведеному нижче матеріалі.

- Границі номінального опору при 20 °С: 46 Ом;
- Допустима похибка показань термометра порівняно з даними градуювальних таблиць становить: $\pm(0,15 + 3,0 \cdot 10^{-3} \cdot t)$.
- Діапазон робочих температур: -200 – 750°С;
- Похибка опору при 0 °С: $\pm 0,05\%$;
- Похибка відношення R_{100}/R_0 : $\pm 0,0007$;
- Середнє відношення R_{100}/R_0 : 1,391;
- Температура нагріву термометра від струму, що проходить через нього у льоду, який перебуває у стані танення, при потужності розсіювання 10 мВт становить 0,2 °С.

2.4 Обґрунтування вибору робочого органу регулювання подачі газу в камеру згорання трубчастої печі

Кожен технологічний процес, що потребує зовнішнього управління, обов'язково має бути оснащений регулювальним органом (РО). Цей елемент є частиною виконавчої системи та виконує функцію зміни певних параметрів, таких як витрати рідини чи газу, з метою забезпечення стабільного режиму роботи обладнання. Регулювальний орган зазвичай тісно взаємодіє з робочою частиною механізму, а в багатьох випадках ці елементи інтегровані в єдиний конструктивний блок.

Ефективність регулюючого органу визначається його ключовими характеристиками, серед яких варто виділити: діапазон налаштувань, особливості робочої витратної характеристики, а також основні технічні параметри, зазначені в паспорті.

Величина, що характеризує відношення найбільшої витрати середовища G_{max} до найменшої G_{min} , яка виникає під час переміщення регулюючого органу (РО) від одного крайнього положення h_{min} до іншого h_{max} для регуляторів дросельного або об'ємного типу, а також при зміні швидкості обертання від мінімального до максимального значення для регуляторів швидкісного типу, отримала назву "діапазон регулювання".

$$R = G_{max} / G_{min} .$$

Залежність витрати робочого середовища від позиції регулюючого органу (РО) або h_{po} прийнято називати робочою витратною характеристикою.

$$G = f(h_{po}) .$$

Під час проєктування, вибору та налаштування регулювального обладнання (РО) з метою ефективного управління технологічним процесом у широких межах навантажень і різноманітних режимах експлуатації важливо забезпечити широкий діапазон регулювання. Окрім цього, необхідно досягти

максимально лінійної витратної характеристики в рамках заданого діапазону, що сприятиме підвищенню точності й стабільності роботи системи.

Система регулювання подачі газу може бути як елементарним механізмом у вигляді клапана, засувки чи заслінки, так і складною конструкцією, яка включає різноманітні пристрої, такі як живильники, дозуючі агрегати, насоси, компресори тощо.

У системах автоматизованого управління та регулювання технологічних процесів застосовуються різні види регулюючих органів (РО). Найбільш поширеними серед них є дросельні механізми, такі як клапани і заслінки. У випадку двопозиційного регулювання, коли регулюючий орган працює у режимі "відкрито-закрито", переміщення його затвора відбувається між двома крайніми положеннями. У такій схемі керування параметри робочого середовища регулюються завдяки зміні співвідношення проміжків часу, протягом яких орган перебуває у відкритому або закритому стані. Для безперервного регулювання характеристика пропускної спроможності органу залежить від рівня його відкриття. Основними параметрами, що визначають властивості регулюючих органів, є максимально допустимий тиск на вході, мінімальний обсяг середовища, що проходить, перепад тиску, а також витрата при повністю відкритому положенні клапана. Підбір регулюючих органів здійснюється на основі цих технічних характеристик.

Клапани, заслінки та засувки – це ключові елементи для керування потоками різних середовищ у трубопроводах. В залежності від способу підключення, клапани поділяються на фланцеві та різьбові. Монтаж клапана здійснюється таким чином, щоб напрямок потоку збігався зі стрілкою, нанесеною на корпус пристрою.

Дросельні повітряні клапани використовуються для регулювання потоків повітря або газів (зокрема, пари) в трубопроводах як круглої, так і прямокутної форми. Вони ефективно працюють при низькому статичному тиску. Прохідний перетин клапана змінюється шляхом обертання його

елемента навколо осі, яка розташована перпендикулярно до напрямку руху потоку.

Щоб уникнути несправностей регулюючого органу, його оснащують кінцевими вимикачами, які припиняють роботу приводу в граничних позиціях.

Грамотно підібраний регулюючий орган і його конструктивні особливості значно підвищують надійність системи та точність виконання дозувальних операцій.

Для управління нашим об'єктом найбільш доцільно використовувати регулюючий орган (РО) дросельного типу. Його принцип дії полягає у зміні об'ємної витрати речовини шляхом варіювання площі поперечного перерізу потоку газу, який проходить через дросельний пристрій. При цьому гідравлічний опір пристрою є змінною характеристикою. Як РО дросельного типу найчастіше застосовують регулювальні клапани. Величина об'ємної витрати речовини, що проходить через такий пристрій, обчислюється за спеціальною формулою.

$$Q = \mu * F * \sqrt{2 * \Delta p / \rho} , [\text{кг/сек}]$$

де μ - коефіцієнт витрати, дорівнює відношенню дійсної витрати речовини до розрахункового; F - площа відкриття РО, м^2 ; Δp - гідравлічний опір РО, Н/м^2 ; ρ - густина речовини, кг/м^3 .

Регулюючі органи (РО) характеризуються широким спектром параметрів. Серед основних характеристик, які відіграють ключову роль в різних умовах експлуатації, виділяють умовну пропускну здатність, номінальний і робочий тиск, перепад тиску на РО, а також умовний прохід.

Пропускна здатність K_v визначає об'єм рідини з густиною 1000 кг/м^3 , який може пройти через регулюючий орган за умови перепаду тиску в 1 кгс/см^2 . Цей показник вимірюється в кубічних метрах на годину, що дозволяє оцінити ефективність роботи пристрою у конкретних технічних умовах.

Умовна пропускна здатність K_{vy} визначається як номінальне значення пропускної спроможності регулюючого обладнання (РО) при максимально можливому (умовному) відкритті затвору, яке вимірюється у кубічних метрах за годину. Це значення залежить як від конструктивного типу регулюючого обладнання, так і від діаметра його умовного проходу D_y .

Міцність РО визначає умовний і робочий тиск.

Умовний тиск P_y визначається як найбільше допустиме навантаження, яке може створювати середовище на робоче обладнання за стандартних температурних умов. Цей показник використовується для проектування робочого обладнання і обирається з числа значень, затверджених у нормативних документах та державних стандартах. При підвищенні температури міцність металевих матеріалів зменшується, що потребує додаткових розрахунків. Саме тому для арматурних елементів і з'єднувальних вузлів встановлюється також граничний робочий тиск, який враховує особливості експлуатації.

Перепад тиску на регулювальному органі (РО) впливає як на розрахункові навантаження, що діють на виконавчий механізм (ВМ), так і на ступінь зносу дросельних поверхонь.

Умовний прохід РО — це показник, що характеризує номінальний діаметр отвору в з'єднувальних трубках. Величини умовних проходів, позначені як D_y , регламентуються державним стандартом. Однак ці стандартні значення не застосовуються до розмірів отвору, розташованого безпосередньо всередині корпусу пристрою.

Окрім зазначених вище характеристик, які визначають конструктивні особливості та розміри регулювальних органів, існують і додаткові параметри. Їх обов'язково враховують під час вибору РО з урахуванням специфічних умов експлуатації.

Залежність змін відносного прохідного перетину регулювального органа (РО) від ступеня його відкриття визначається конструктивною характеристикою. Завдяки спеціальному профілюванню, дросельні пристрої

клапанів для регулювання можуть отримувати різноманітні характеристики, адаптовані до специфічних умов експлуатації автоматичних систем керування. Серійно виготовлені дросельні механізми зазвичай мають профілювання, що забезпечує лінійну або рівновідсоткову пропускну характеристику, яка відповідає стандартним вимогам та умовам роботи.

За умови лінійної пропускну характеристики, зміна пропускну здатності відбувається прямо пропорційно до зміщення затвора.

$$dK_v = C * dS ,$$

де C - постійна величина.

У випадку рівновідсоткової пропускну характеристики зміна пропускну здатності по мірі відкривання затвора є пропорційною до поточного значення цього показника.

$$dK_v / dS = C * K_v .$$

Вимоги до регулюючої арматури (РО) визначаються фізико-хімічними характеристиками середовища, з яким вона взаємодіє. Матеріал, з якого виготовлена РО, повинен бути хімічно стійким до впливу цього середовища. Допустимість корозії ущільнювальних, дросельних і направляючих поверхонь, а також деталей, таких як затвори, сідла та штоки, є категорично виключеною.

Регулювальні органи повинні стабільно функціонувати незалежно від умов навколишнього середовища, зокрема при значних коливаннях температури – як високих, так і низьких. Неприпустимі ситуації, коли пристрій виходить з ладу через накопичення забруднень, утворення відкладень чи інші фактори. Для роботи в умовах негативних температур необхідно передбачити заходи захисту, що запобігатимуть обмерзанню виступаючих частин штока з сальникової камери. Альтернативно можна використовувати регулювальні органи, розроблені спеціально для роботи в таких умовах.

У разі потреби регулювальний орган повинен відповідати вимогам пожежної та вибухової безпеки. Це означає, що необхідно запобігти витoku

робочого середовища за межі системи. Для таких випадків використовують сифонні ущільнювачі штоків, які не мають сальників.

На установках технологічного цеху стабілізації конденсату необхідно забезпечити пропуск природного газу в обсязі 150 м³/год, що є критичним для стабільної роботи обладнання.

Аналізуючи результати досліджень, присвячених методам і засобам контролю подачі газу, можна зробити висновок, що оптимальним вибором для нашого технологічного процесу є використання регулювального клапана, оснащеного електричним виконавчим механізмом типу 25ч940нж (рис. 2.5).

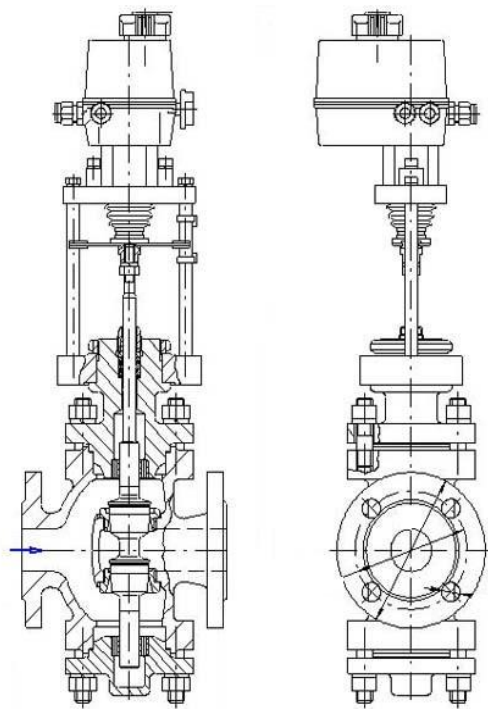


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд регулюючого клапану з електричним виконавчим механізмом

Характеристики обраного клапану:

- Номінальний діаметр 80 мм;
- Номінальний тиск 1,6 МПа;
- Температурний режим від -15 до 220°C;
- Клас герметичності А, В;
- Умовна пропускна здатність 160 м³/год.

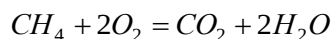
2.5 Обґрунтування вибору робочого органу регулювання подачі повітря в камеру згорання трубчастої печі

Горіння газового палива являє собою складний процес, що включає в себе як фізичні, так і хімічні явища.

- змішування горючого газу з повітрям;
- підігрів суміші;
- термічний розклад горючих компонентів;
- Горючі елементи вступають у хімічну реакцію з киснем, що міститься в повітрі, в результаті чого утворюється полум'я (факел) із значним виділенням тепла.

Постійне забезпечення подачі горючого газу і повітря до фронту горіння в оптимальних пропорціях, їх ретельне змішування та нагрівання до температури, за якої відбувається самозаймання, створює умови для стабільного горіння газоповітряної суміші, водночас уникаючи надмірного споживання дорогоцінного палива.

Природний газ в основному складається з метану – CH_4 (до 90 – 95 %).



При згорянні одного кубічного метра природного газу лише 95% обсягу бере участь у реакції, а саме метан. Для аналізу використовується принцип, що впливає із закону Авогадро: об'єми газів пропорційні їх молекулярним кількостям. Відповідно до рівняння хімічної реакції, щоб повністю спалити один моль метану, потрібно два молі кисню. Таким чином, для повного згорання одного кубічного метра природного газу необхідно:

$$V_{\text{кис}} = 2 \times 0.95 = 1.9 \text{ (м}^3\text{)}$$

У повітрі присутній близько 21% кисню. Це означає, що для забезпечення горіння одного кубічного метра газу потрібна наступна кількість:

$$V_{\text{нов}} = 1.9 / 0.21 = 9.05 \text{ (м}^3\text{)}$$

Оскільки потрібно забезпечити спалювання природного газу з обсягом 150 м³/год, необхідно розрахувати продуктивність радіального вентилятора, який має забезпечити подачу необхідного об'єму повітря для цього процесу.

$$Q = 150 \times 9.05 = 1357.5 \text{ (м}^3\text{/Год)}$$

Для згоряння природного газу не потрібне повітря високого тиску, що виключає необхідність застосування компресорної станції такого типу. У цьому випадку найефективнішим рішенням є використання радіального вентилятора, який здатний забезпечити потрібний об'єм повітря для формування ідеальних умов для процесу згоряння газу.

Радіальний вентилятор — це пристрій, призначений для створення перепадів тиску повітря чи інших газоподібних середовищ, що забезпечує їхнє транспортування, переміщення сумішей тощо. Його конструкція зазвичай складається зі спірального корпусу та робочого колеса, оснащеного лопатками. Основними перевагами цього обладнання є компактність, легка вага, низьке використання металу, висока ефективність, надійність у роботі, зручність у виробництві та невеликі витрати під час експлуатації. Робочі колеса можуть мати різноманітні конструктивні варіанти. Зокрема, односторонні конструкції застосовуються в пилових моделях і вентиляторах, які працюють із високими тисками.

Радіальний вентилятор може бути підключений до електродвигуна різними способами. Зокрема, робоче колесо встановлюється безпосередньо на вал двигуна, використовуючи такі механізми: еластичну муфту, клинопасову передачу зі стабільним передаточним числом або регульовану безступінчасту передачу, яка функціонує за допомогою гідравлічних чи індукторних (електричних) муфт ковзання.

Для реалізації цього технологічного процесу вирішено застосувати радіальний вентилятор моделі ВЦ 1446, який функціонує завдяки асинхронному електродвигуну серії АИР80А2.

Характеристики обраного вентилятору:

- Продуктивність вентилятора 1760 м³/год;

- Тиск 1210 Па;
- Напруга 380/220В, частота 50 Гц;
- Потужність двигуна 1,5 кВт;
- Частота обертання валу 3000 об/хв.;
- Висота осі обертання - 80 мм.;
- Схема з'єднання обмоток «зірка-трикутник»;
- Клас ізоляції – F;
- $\cos \varphi$ електродвигуна - 0,84;
- ККД електродвигуна – 78,1 %.



Рисунок 2.6 – Радіальний вентилятор вц 14 46

2.6 Обґрунтування вибору системи керування асинхронним двигуном

Ефективне управління асинхронним двигуном забезпечується шляхом застосування доволі складних алгоритмічних рішень. Значна кількість асинхронних двигунів функціонує у складі електроприводів без системи управління.

Для регулювання моменту двигуна, а також для зміни його швидкості, використовують такі методи:

1. Регулювання напруги, що подається на статор U_1 .
2. Коригування частоти напруги f_1 , зокрема можливе одночасне змінення частоти та напруги.
3. Налаштування опору в роторному колі R_2 для двигунів з фазним ротором.
4. Зміна кількості пар магнітних полюсів.
5. Використання енергії ковзання в спеціалізованих каскадних схемах, характерних для двигунів із фазним ротором.
6. Організація подвійного живлення електродвигуна (застосовується для фазного ротора).
7. Регулювання опору в колі статора.
8. Частотний метод управління швидкістю обертання.

Широке застосування отримав метод регулювання швидкості обертання електродвигунів шляхом зміни частоти. Для його впровадження двигун підключається до електромережі через спеціальний пристрій – частотний перетворювач. Цей підхід дозволяє ефективно використовувати прості та надійні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, забезпечуючи необхідні характеристики роботи, включаючи високу частоту обертання. При цьому енергетичні втрати на перетворення залишаються мінімальними. Найчастіше для реалізації такого методу застосовують частотні перетворювачі, які мають проміжну ланку постійного струму.

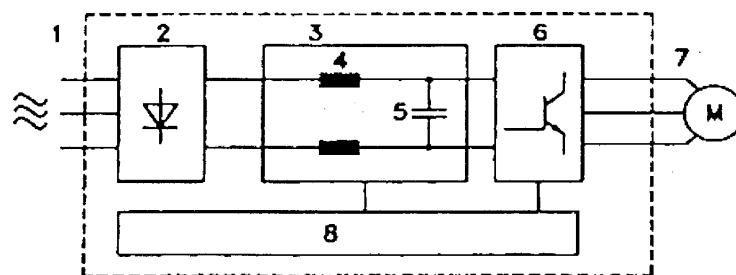


Рисунок 2.7 – Схема перетворювача частоти з ланкою постійного струму

Коли до системи подається змінна трифазна напруга від мережі (пункт 1), вона проходить через випрямний міст (2), який трансформує її в постійну напругу. Рівень цієї постійної напруги відповідає вхідній напрузі мережі

живлення. Через проміжну ланку (3), що включає індуктивні котушки (4) та конденсатор (5), згладжується струм і зменшуються коливання, знижуючи вплив на мережу та її елементи. Завдяки інвертору (6) постійна напруга перетворюється на змінну напругу з регульованою частотою (7), яка подається на електродвигун для забезпечення його роботи.

Весь процес контролюється комп'ютером (8), який керує інвертором і формує імпульсну послідовність. Завдяки цій послідовності напруга постійного струму трансформується у змінну напругу з регульованою частотою.

Головна перевага такого підходу полягає у забезпеченні плавного регулювання швидкості від нульового значення до максимально допустимого (номінального), зберігаючи при цьому стабільність механічної характеристики та високу перевантажувальну здатність електродвигуна.

Для пристроїв зі струмовими механізмами, такими як вентилятори, насоси тощо, статичний момент яких змінюється пропорційно квадрату швидкості ($M_c = \omega^2$), найбільш ефективним є використання закону керування, за якого критичний момент двигуна також зменшується відповідно до квадрату швидкості ($M_k = \omega^2$). Це дозволяє узгодити характеристику статичного моменту, знизити рівень магнітного потоку, а також оптимізувати споживання реактивної енергії. Такий підхід сприяє підвищенню енергетичної ефективності пристрою, як ілюстровано на рис.2.8.

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_{1н}}{f_{1н}^2} = const$$

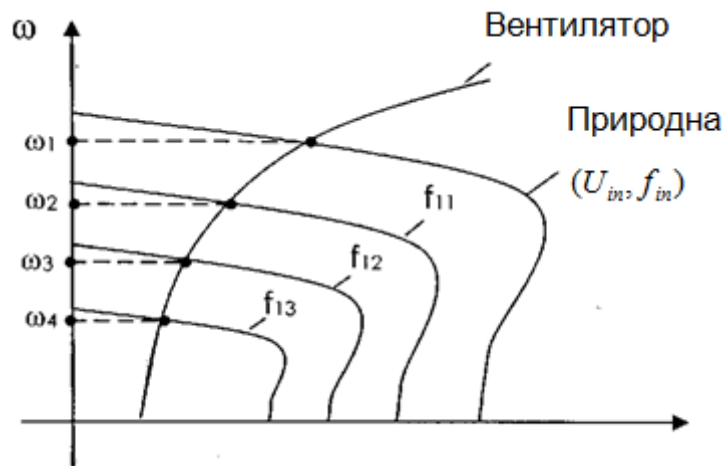


Рисунок 2.8 – Сімейство штучних механічних характеристик закону

$$\text{керування } \frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_{1н}}{f_{1н}^2} = \text{const}$$

Для оптимального управління асинхронним двигуном я вирішую використовувати частотний перетворювач «Danfoss» моделі FCD 300. Це обладнання забезпечує можливість налаштування всіх ключових технологічних параметрів, необхідних для досягнення високої ефективності роботи системи.



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд частотного перетворювача «Danfoss»
FCD 300

Характеристики обраного перетворювача:

- Напруга живлення 380 – 415 В;
- Частота мережі 50/60 Гц
- Вихідна потужність приводу 0,37 – 3,3 кВт;
- Коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,9$.

2.7 Обґрунтування вибору мікропроцесора системи автоматичного регулювання

Оберу мікроконтролер Atmel AT89C51AC3 для реалізації завдання. Ця мікросхема належить до серії МК51 (сумісна з intel8051) і вирізняється такими характеристиками:

- Архітектура ядра 80C51;
- 256 байт вбудованого ОЗУ;
- 2048 байт вбудованого розширеного ОЗУ;
- 64 кбайт вбудованої флеш-пам'яті;
- Зберігання даних: 10 років при температурі 85°C;
- Циклів читання/запис: 100 тис.;
- Завантажувальний сектор з роздільними бітами захисту;
- Розмір завантажувального сектора 2 кбайт в вбудованій флеш-пам'яті;
- Внутрісистемне програмування під керуванням вбудованої програми завантажника через УАПП і підтримка програмування всередині додатка (IAP);
- 2 кбайт вбудованого ЕСППЗУ зі зносостійкістю 100 тис. циклів читання/запису;
- Вбудований контроль живлення (скидання при подачі живлення, скидання при неприпустимому зниженні живлення);
- Система переривань з 4 рівнями пріоритетів і 14 джерелами;
- Три 16-разр. таймерів-лічильників;
- Повнодуплексний УАПП сумісний з 80C51;
- Високошвидкісна архітектура;
- У стандартному режимі:
 - 40 МГц (V_{cc} 3В...5.5У при виконанні зовнішнього/внутрішнього програмного коду)
 - 60 МГц (V_{cc} 4.5У...5.5У при виконанні тільки внутрішнього коду)

- У режимі X2 (6 тактів синхронізації на один машинний цикл)
 - 20 МГц (V_{CC} 3В...5.5В при виконанні зовнішнього/внутрішнього програмного коду)
 - 30 МГц (V_{CC} 4.5В...5.5В при виконанні тільки внутрішнього коду)
 - П'ять портів: 32 + 4 цифрові лінії введення-виведення;
 - П'ятиканальний 16-разр. програмувальний рахунковий масив (PCA),
- у т.ч.:
- ШІМ (8 разр.)
 - Високошвидкісний вихід
 - Захоплення стану таймера по фронтах
 - Подвійний показчик даних;
 - 21-разр. сторожовий таймер (7 програмувальних розрядів);
 - 10-разр. аналогово-цифровий перетворювач з 8 мультиплексованими входами;
 - Інтерфейс SPI (тільки в корпусах PLCC52 і VQFP64);
 - Вбудована логіка емуляції;
 - Енергозберігаючі режими;
 - Напруга харчування 3...5.5В;
 - Температурний діапазон: промисловий ($-40^{\circ}\dots+85^{\circ}\text{C}$);
 - Корпуса: VQFP44, PLCC44, VQFP64, PLCC52.

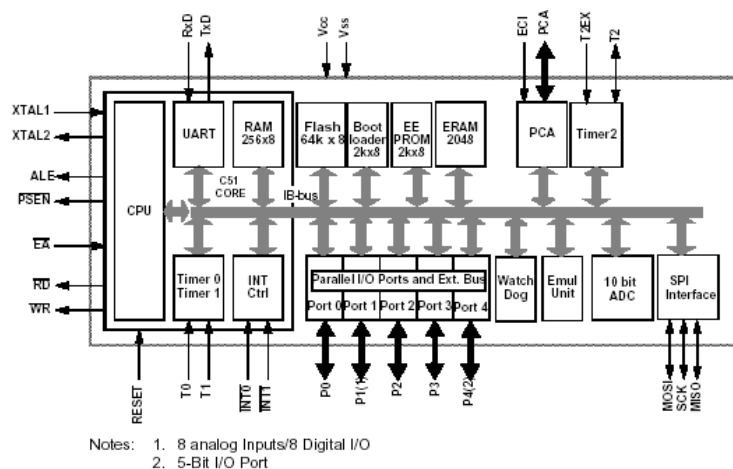


Рисунок 2.10 – Структурна схема Atmel AT89C51AC3

AT89C51AC3 – це високоефективна модифікація 8-розрядного однокристального мікроконтролера серії 80C51, оснащеного інтегрованою флеш-пам'яттю. У режимі роботи X2, при досягненні максимальної тактової частоти 20 МГц, час виконання одного машинного циклу становить лише 300 нс. Мікроконтролер має 64 кбайт флеш-пам'яті, яка підтримує як внутрисистемне, так і внутріприкладне програмування, включаючи завантажувальний сектор обсягом 2 кбайт. Окрім цього, пристрій оснащений 2 кбайт ЕСППЗУ та 2048 байт розширеного оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗУ). Під час створення AT89C51AC3 ключова увага приділялася зниженню рівня електромагнітних випромінювань, що забезпечує його стабільну роботу в умовах високих вимог до електромагнітної сумісності.

3 Розробка структурної схеми системи керування процесом підігріву конденсату та знаходження математичних моделей її складових

3.1 Розробка структурної схеми системи керування

Структурна схема системи автоматичного керування представляє собою графічну інтерпретацію математичної моделі системи, виконану у вигляді з'єднаних між собою стандартних елементів. Ці елементи відповідають функціональному призначенню окремих компонентів системи. Кожен елемент схеми зображується у вигляді прямокутника, в якому зазначаються передатні функції, що характеризують динамічні властивості або часові залежності цієї складової. Передатна функція визначається як співвідношення між зображеннями вихідного сигналу та вхідного, за умови, що початкові параметри системи рівні нулю.

Система керування подачею повітря в пальник трубчастої печі, яка регулює його кількість залежно від температури, у загальному вигляді включає кілька основних елементів. До них належать: регулятор технологічного процесу, перетворювач частоти, вентиляторна установка та зворотній зв'язок, що реалізується через термометр опору. Структурна схема такої системи зображена на рис.3.1.

Під час детального аналізу процесів, що відбуваються в тиристорному перетворювачі, його доцільно розглядати як нелінійний дискретний елемент у структурі системи керування. Математичне моделювання таких процесів з високим рівнем точності можливе завдяки використанню теорії систем, що застосовують широтно-імпульсну модуляцію другого типу (ШІМ). У реальних умовах для спрощення аналізу зазвичай застосовують наближені моделі, які описують динаміку тиристорного перетворювача. Якщо частота дискретних імпульсів є нижчою за певне граничне значення, то динамічну поведінку тиристорного перетворювача можна представити у вигляді

лінійної безінерційної ланки, що характеризується певним коефіцієнтом підсилення.

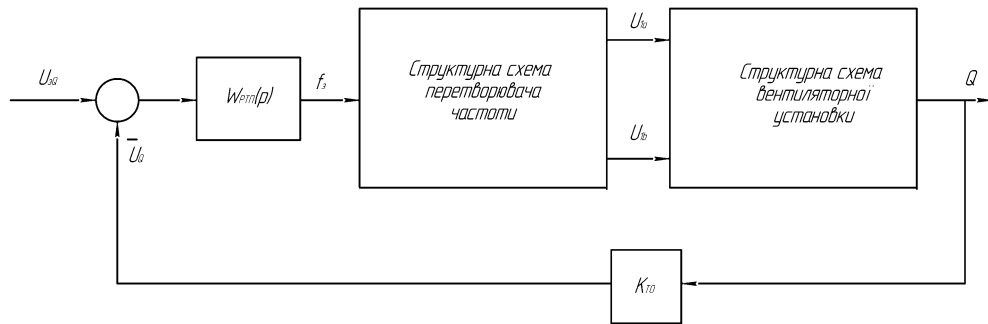


Рисунок 3.1 – Схема, що відображає структуру системи управління процесом регулювання подачі потрібного обсягу повітря в пальник трубчастої печі залежно від температурних показників:

$W_{рп}(p)$ – передаточна функція регулятора технологічного параметра; $K_{тв}$ – ланка зворотнього зв'язку представленої термометром опору; $U_{зQ}$ – напруга завдання необхідної продуктивності; U_Q – напруга зворотнього зв'язку

Якщо припустити, що інерційність електромагнітних ланцюгів двигуна є значно меншою за часову постійну технологічного об'єкта, а також врахувати високий рівень жорсткості механічної характеристики двигуна та зв'язок об'єкта з електроприводом через МС, то структурну схему системи керування величиною Q (рис. 3.1) можна істотно спростити. Лінеаризована модель системи керування для цього випадку зображена на рис. 3.2.

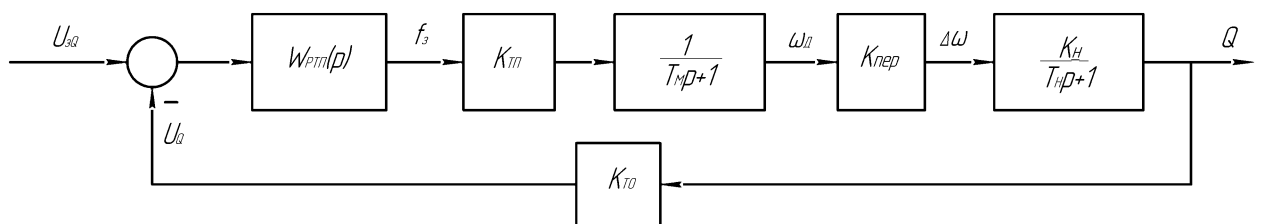


Рисунок 3.2 – Схема, що демонструє структуру автоматизованої системи управління повітряним потоком до пальника трубчастої печі: T_m – механічна постійна двигуна; k_H – коефіцієнт передачі об'єкта за продуктивністю; T_H – постійна стала часу об'єкта при регулюванні продуктивності; $K_{пер}$ – коефіцієнт передачі між двигуном і вентилятором; $K_{тп}$ – коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача.

Формула, яка описує залежність температури від показів термометра опору, має наступний вигляд:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot t), \quad (3.1)$$

де коефіцієнт $\alpha = \frac{1}{273}$, $\rho_0 = 46 \text{ Ом}$, $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, тоді

$$\rho = 46 \left(1 + \frac{1}{273} 20 \right) = 49,37 \text{ Ом},$$

Варіюючи температуру в діапазоні від 20 до 750 $^\circ\text{C}$, можна створити статичну характеристику термометра опору типу РТ-50 (рис.3.3).

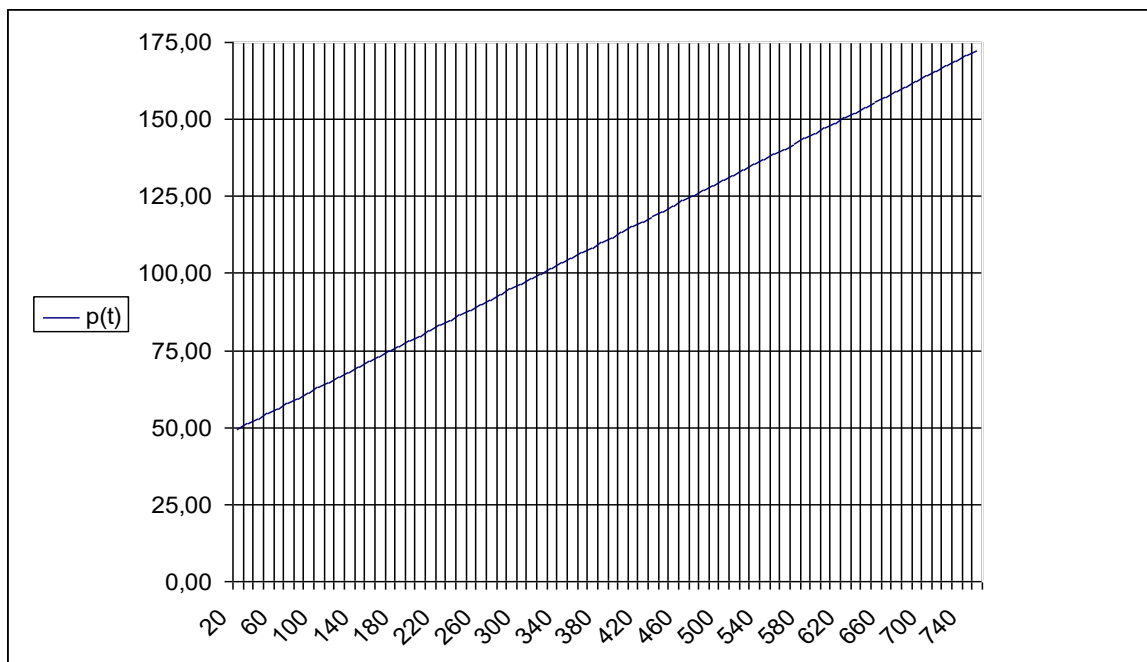


Рисунок 3.3 – Статична характеристика термометра опору РТ-50

Розглянемо графік статичної характеристики температурного датчика РТ-50 (рис. 3.3) для визначення його передатного коефіцієнта.

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3.2)$$

$$k = \frac{172,37 - 49,37}{750 - 20} = 0,17$$

З позиції теорії автоматичного регулювання термометр опору розглядається як підсилювальна ланка, що характеризується певною передатною функцією.

$$W_{mo}(p) = k_{TO} = 0,17$$

Розрахуємо основні коефіцієнти передаточних функцій

$$T_M = \frac{J_\Sigma}{\beta} \quad (3.3)$$

$$\beta = \frac{2 \times M_K}{\omega_O \times s_k} = \frac{2 \times 2.5 \times M_n}{\omega_O \times s_k} \quad (3.4)$$

$$J_\Sigma = J_D + J_K \frac{1}{i_{II}^2} + m \frac{Q^2}{s^2 \omega_D} \quad (3.5)$$

де $m=0.4$ кг-маса повітря; $J_K=0.0007$ кг· м² - момент інерції вентилятора; $K_{пер} = 1$ - передаточне число між двигуном і вентилятором.

$$J_\Sigma = 0.0035 + 0.0007 \times \frac{1}{1^2} + 0.4 \times \frac{0.69^2}{0.030625 \times 314} = 0.024 (\text{кг} \times \text{м}^2)$$

$$\beta = \frac{2 \times 2.5 \times 11.81}{314 \times 0.043} = 4.37$$

$$T_M = \frac{0.024}{4.37} = 0.0055 (\text{с})$$

$$k_n = \frac{m \times H_{cm}}{s^2 \times \rho \times g \times a_\phi \times \omega_n \times Q_n} \quad (3.6)$$

$$k_n = \frac{0.4 \times 2557 \times 3600}{0.000938 \times 1.29 \times 9.8 \times 946.08 \times 298.3 \times 1760} = 0.625$$

$$T_H = \frac{m}{2 \times s^2 \times \rho \times g \times a_\phi \times Q_n} \quad (3.7)$$

$$T_H = \frac{0.4 \times 3600}{2 \times 0.000938 \times 1.29 \times 9.8 \times 74.52 \times 1760} = 0.46$$

При аперіодичному регулюванні системи отримаємо ПІ-регулятор

$$W_{ПИ} (p) = k_{II} + k_i \frac{1}{p} \quad (3.8)$$

Якщо дотримується умова співвідношення коефіцієнтів $k_{II}/k_I = T_H$, це дозволяє налаштувати контур таким чином, щоб він функціонував подібно до аперіодичної ланки з відповідною передатною функцією.

$$W(p) = \frac{k'_H}{T'_H p + 1} \quad (3.9)$$

$$k'_H = \frac{k_\Sigma}{1 + k_{TO} k_\Sigma} \quad (3.10)$$

$$T'_H = \frac{T_M}{1 + k_{TO} k_\Sigma} \quad (3.11)$$

$$k_\Sigma = \frac{2k_i \pi k_H}{p_n i_n} \quad (3.12)$$

Задамося величиною $T'_H = 0.005$ с. З (3.11) знаходимо величину k_Σ

$$k_\Sigma = \left(\frac{T_M}{T'_H} - 1 \right) \times \frac{1}{k_{TP}} = \left(\frac{0.0055}{0.005} - 1 \right) \times \frac{1}{0.17} = 0.59$$

З (3.12) знаходимо величину k_i :

$$k_i = \frac{k_\Sigma \cdot p_n \cdot i_n}{2 \cdot \pi \cdot k_H} = \frac{0.59 \cdot 1 \cdot 1}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.625} = 0.15$$

Зі співвідношення $k_{TP}/k_i = T_H$ знаходимо величину k_{TP} :

$$k_{TP} = T_H \times k_i = 0.46 \cdot 0.15 = 0.069$$

У такий спосіб одержуємо передаточну функцію аналогового ПІ-регулятора.

$$W(p) = 0.069 + \frac{0.15}{p}$$

Змінюючи k_i можна змінювати швидкодію системи. Оскільки в нашій системі буде використовуватись цифровий ПІ – регулятор вмонтований в частотний перетворювач, отримаємо його передаточну функцію застосувавши z-перетворення до передаточної функції аналогового ПІ – регулятора. Пропорційна складова регулятора є константою, а за правилами z-перетворення константа не змінюється. Інтегральна частина складається із

множників: $0,15 \cdot \frac{1}{p}$. Перший множник є константою і не перетворює, а другий

доданок приймає вигляд: $\frac{T_0}{z-1}$

Таким чином, можна визначити передаточну функцію цифрового ПІ-регулятора, який використовується в системі управління.

$$W(z) = 0,069 + 0,15 \cdot \frac{0,0001}{z-1}$$

3.2 Статична характеристика регулюючого клапану подачі газу

Для управління подачею природного газу в попередньому розділі було визначено відповідний регулюючий клапан з електроприводом моделі 25ч940нж. Цей пристрій повністю відповідає ключовій вимозі – забезпечення регулювання потоку газу в межах від 0 до 150 м³/год для живлення печі, що використовується для підігріву нестабільного конденсату.

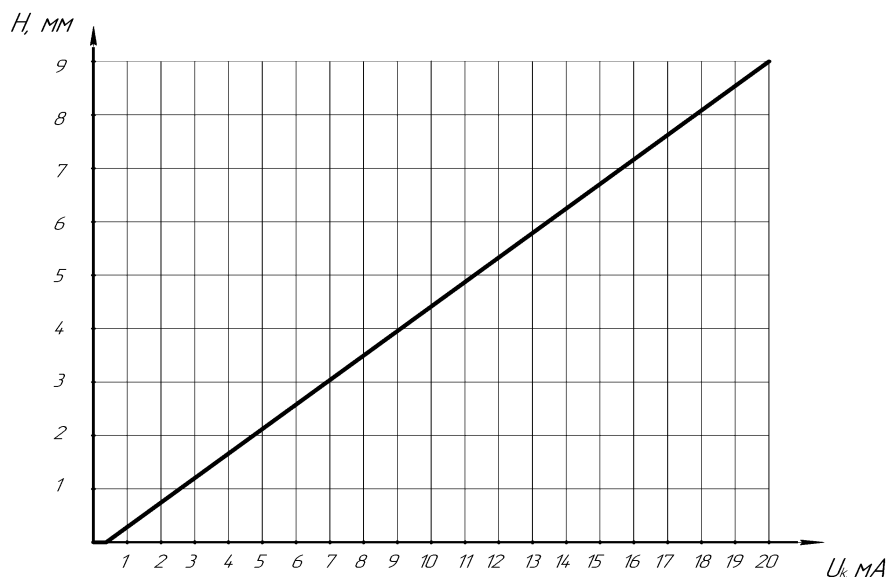


Рисунок 3.4 – Статична характеристика регулюючого клапану подачі газу

Клапан регулюється за допомогою автоматизованої системи управління, яка базується на мікропроцесорі Atmel AT89C51AC3. У процесі роботи мікроконтролер здійснює порівняння заданого температурного значення з фактичним, отриманим від температурного датчика. Виходячи з

заданого алгоритму, він генерує керуючий сигнал для регулювання подачі газу через клапан, а також для налаштування швидкості вентилятора. Це дозволяє забезпечити оптимальні умови горіння газу та досягнення необхідного температурного режиму.

3.3 Розрахунок статичних характеристик вентиляторної установки подачі повітря в піч підігріву конденсату

Для визначення механічних характеристик електродвигуна використовуємо рівняння Клосса, яке дозволяє точно оцінити його параметри.

$$M = \frac{2M_K(1 + S_K + \frac{R_1}{R'_2})}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S} + 2S_K \frac{R_1}{R'_2}} \quad (3.13)$$

де M_K - критичний момент, розраховується він по формулі:

$$M_K = \frac{3 \cdot U^2}{\frac{4\pi f}{p_n} (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})} \quad (3.14)$$

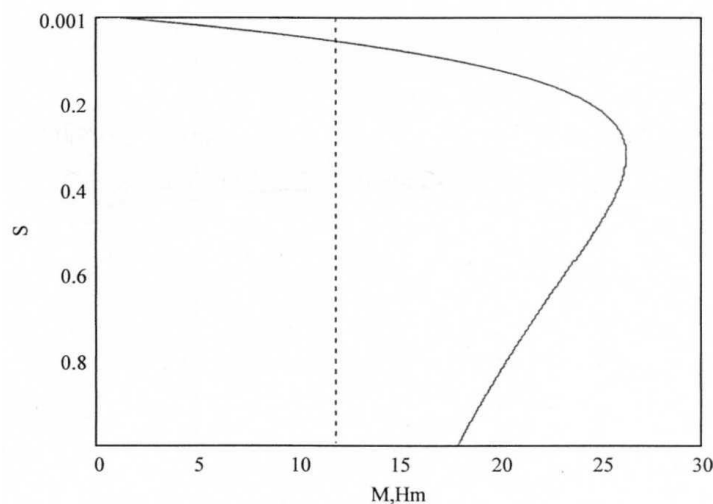


Рисунок 3.5 – Механічна характеристика, притаманна асинхронним двигунам, визначає їхню природну поведінку під час роботи.

Сімейство штучно створених механічних характеристик асинхронного електродвигуна при реалізації частотного регулювання відповідно до вентиляторного закону відображено на рис.3.6.

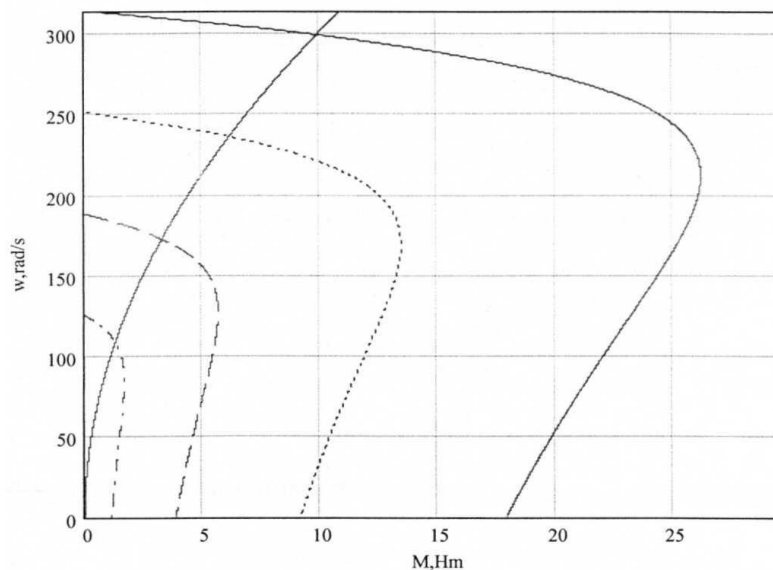


Рисунок 3.6 – Сімейство штучних механічних характеристик асинхронного двигуна при частотному керуванні за вентиляторним законом керування

Статичну характеристику вентилятора можна визначити шляхом аналізу графіка, що демонструє зміну частоти обертання лопатевого колеса в процесі регулювання (рис 3.7).

Оскільки в системі застосовується ПІ-регулятор, для забезпечення стійкого статичного режиму необхідно, щоб вхідний сигнал цього регулятора мав значення, рівне нулю. Це забезпечує коректну роботу регулятора й підтримку заданих параметрів системи.

$$U_{3Q} - K_{TO} Q = 0 \quad (3.15)$$

Тоді рівняння статичної характеристики буде мати вигляд:

$$Q = \frac{1}{K_{TO}} \times U_{3Q}$$

Продуктивність не залежить від рівня аеродинамічного опору, оскільки вона визначається виключно поставленим завданням, за умови, що ПІ-регулятор працює поза межами обмежувальної зони.

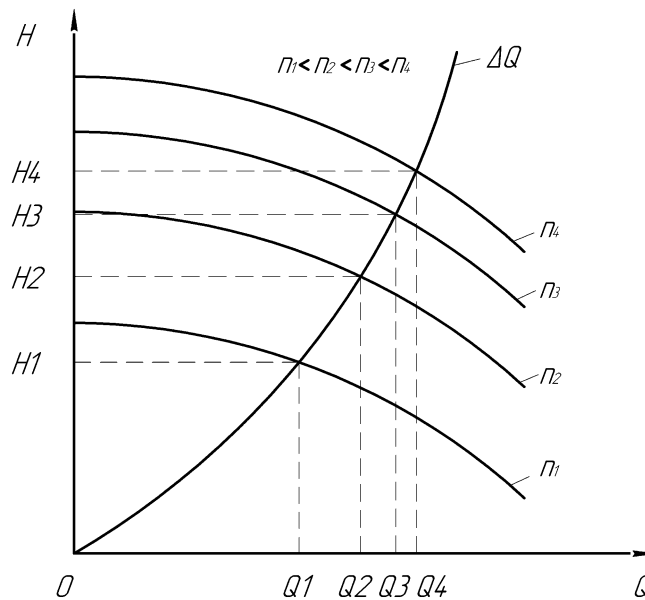


Рисунок 3.7 - Регулювання вентилятора зміною частоти обертання лопаточного колеса.

3.4 Математична модель двигуна

Електрична машина відіграє ключову роль у складі електроприводів і електромеханічних систем, забезпечуючи основну функцію – трансформацію енергії між електричною та механічною формами. Точний математичний опис процесів перетворення енергії, що відбуваються в електричній машині, є надзвичайно важливим для створення ефективних алгоритмів управління цим процесом, його теоретичного аналізу та побудови моделей для подальших досліджень і практичного використання.

Математичне моделювання процесів, пов'язаних з електромеханічним перетворенням енергії, проводиться з використанням концепції так званих ідеалізованих машин. Такий підхід ґрунтується на ряді основних принципів, які лежать в основі аналізу та опису цих процесів:

- детальний аналіз ключових процесів, характерних для певного типу електричних машин;
- розгляд явищ другого рівня впливу, серед яких:
 - Відсутність ідеальності в магнітних матеріалах і геометричній структурі.

- Відхилення форми магнітного потоку від синусоїдальної.
- Порушення симетрії параметрів магнітних і електричних характеристик у трифазних обмотках та інші фактори, які не враховуються.

У теорії ідеалізованих електричних машин математичне моделювання процесів, пов'язаних із електро механічним перетворенням енергії, можна значно спростити, якщо перейти до еквівалентного опису за допомогою двофазної моделі.

Завдяки такій заміні можна отримати узагальнений математичний опис процесів перетворення енергії в електро механічних системах обертального типу. Це досягається використанням ідеалізованого двофазного електро механічного перетворювача, який відомий як узагальнена електрична машина. Такий підхід дозволяє моделювати процеси електро механічного перетворення з високою точністю та універсальністю.

Узагальнена модель електричної машини являє собою спрощене представлення реального пристрою. В її основі лежить припущення, що магнітні потоки і магніторухливі сили (МРС), які генеруються обмотками ротора і статора, мають синусоїдальний розподіл уздовж периметра машини. Якщо обмотки характеризуються не синусоїдальним розподілом МРС, враховується вплив першої просторової гармоніки поля, тоді як магнітні потоки, викликані гармоніками вищих порядків, зазвичай відносять до потоків розсіювання.

За умов симетричного живлення, динамічні характеристики в електричній частині базової узагальненої електро машини (див. рисунок 3.8) описуються системою з чотирьох рівнянь, що визначають електричну рівновагу в колах обмоток. Також враховується рівняння, яке встановлює зв'язок між електро магнітним моментом двигуна, струмами в обмотках та механічними параметрами.

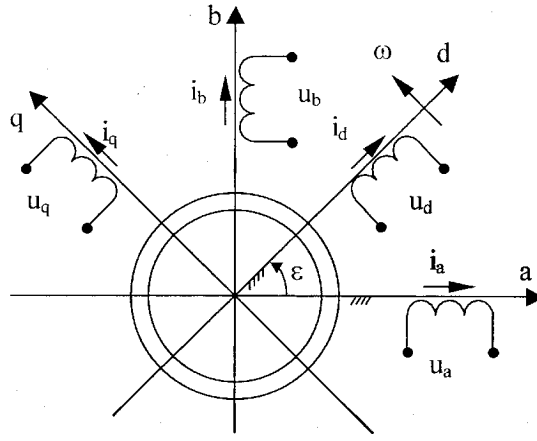


Рисунок 3.8 – Схема елементарної узагальненої двофазної машини.

Сформулюємо рівняння електричної рівноваги, що описують взаємозв'язок між векторами напруги та струмів, включаючи їхні потокозчеплення.

$$\vec{U}_1 = R_1 \vec{i}_1 + \frac{d\vec{\Psi}_1}{dt} \quad (3.16)$$

$$\vec{U}_2 = R_2 \vec{i}_2 + \frac{d\vec{\Psi}_2}{dt} - J\omega p_n \vec{\Psi}_2$$

Рівняння для потокозчеплення мають вигляд:

$$\vec{\Psi}_1 = L_1 \vec{i}_1 + L_m \vec{i}_2 \quad (3.17)$$

$$\vec{\Psi}_2 = L_2 \vec{i}_2 + L_m \vec{i}_1$$

Для побудови моделі потрібно сформулювати математичну залежність асинхронного двигуна (АД), використовуючи змінні струму статора i_1 та потокозчеплення ротора Ψ_2 . З цією метою з рівнянь (3.16) і (3.17) необхідно виключити параметри i_2 й Ψ_1 .

$$\vec{\Psi}_1 = L_1 \vec{i}_1 + L_m \left(\frac{\vec{\Psi}_2 - L_m \vec{i}_2}{L_2} \right) = \left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \vec{i}_1 + \frac{L_m}{L_2} \vec{\Psi}_2 \quad (3.18)$$

$$\vec{i}_2 = \frac{\vec{\Psi}_2 - L_m \vec{i}_1}{L_2} \quad (3.19)$$

Отримані вирази підставимо в рівняння (3.16) і (3.17)

$$\begin{aligned}
\bar{U}_2 &= R_2 \frac{\bar{\Psi}_2 - L_m \bar{i}_1}{L_2} + \frac{d\bar{\Psi}_2}{dt} - J\omega p_n \bar{\Psi}_2 \\
\bar{U}_1 &= R_1 \bar{i}_1 + \frac{d}{dt} \left(\left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \bar{i}_1 + \frac{L_m}{L_2} \bar{\Psi}_2 \right) \\
\bar{U}_1 &= R_1 \bar{i}_1 + \left(L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} \right) \frac{d\bar{i}_1}{dt} + \frac{L_m}{L_2} \times \frac{d\bar{\Psi}_2}{dt}
\end{aligned} \tag{3.20}$$

Введемо заміни:

$$\sigma = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}$$

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2}$$

$$\beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}$$

і отримаємо:

$$\begin{aligned}
\frac{d\bar{\Psi}_2}{dt} &= -\frac{R_2}{L_2} \bar{\Psi}_2 + J\omega p_n \bar{\Psi}_2 + \frac{R_2 L_m}{L_2} \bar{i}_1 + \bar{U}_2 \\
\frac{d\bar{i}_1}{dt} &= -\frac{R_1 \bar{i}_1}{\sigma} - \frac{L_m}{\sigma L_2} \left(-\frac{R_2}{L_2} \bar{\Psi}_2 + J\omega p_n \bar{\Psi}_2 + \frac{R_2 L_m}{L_2} \bar{i}_1 + \bar{U}_2 \right) + \frac{\bar{U}_1}{\sigma} \\
\frac{d\bar{i}_1}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} \bar{i}_1 - \alpha \beta L_m \bar{i}_1 + \alpha \beta \bar{\Psi}_2 - \beta J\omega p_n \bar{\Psi}_2 - \beta \bar{U}_2 + \frac{\bar{U}_1}{\sigma} \\
\frac{d\bar{\Psi}_2}{dt} &= -\alpha \bar{\Psi}_2 + J\omega p_n \bar{\Psi}_2 + \alpha L_m \bar{i}_1 + \bar{U}_2
\end{aligned}$$

Так як $J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$, то одержимо:

$$\begin{aligned}
\frac{di_{1a}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} i_{1a} - \alpha \beta L_m i_{1a} + \alpha \beta \psi_{2a} + \beta \omega p_n \psi_{2b} - \beta U_{2a} + \frac{U_{1a}}{\sigma} \\
\frac{di_{1b}}{dt} &= -\frac{R_1}{\sigma} i_{1b} - \alpha \beta L_m i_{1b} + \alpha \beta \psi_{2b} + \beta \omega p_n \psi_{2a} - \beta U_{2b} + \frac{U_{1b}}{\sigma} \\
\frac{d\psi_{2a}}{dt} &= -\alpha \psi_{2a} - \omega p_n \psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a} + U_{2a} \\
\frac{d\psi_{2b}}{dt} &= -\alpha \psi_{2b} - \omega p_n \psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b} + U_{2b}
\end{aligned}$$

Вираз для моменту, що розвиває двигун:

$$M = L_m \bar{i}_1^T J \bar{i}_2 = \frac{L_m}{L_2} \bar{i}_1^T J (\bar{\psi}_2 - L_m \bar{i}_1) = \frac{L_m}{L_2} (i_{1a} i_{1b}) \begin{bmatrix} L_m i_{1b} - \psi_{2b} \\ \psi_{2a} - L_m i_{1a} \end{bmatrix} = \frac{L_m}{L_2} (\psi_{2a} i_{1b} - \psi_{2b} i_{1a})$$

Отже динамічна модель АД з короткозамкненим ротором має вигляд:

$$\omega = \frac{1}{J} \left[\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} (\psi_{2a} i_{1b} - \psi_{2b} i_{1a}) - M_c \right]$$

$$\frac{di_{1a}}{dt} = -\frac{R_1}{\sigma} i_{1a} - \alpha \beta L_m i_{1a} + \alpha \beta \psi_{2a} + \beta \omega p_n \psi_{2b} + \frac{U_{1a}}{\sigma}$$

$$\frac{di_{1b}}{dt} = -\frac{R_1}{\sigma} i_{1b} - \alpha \beta L_m i_{1b} + \alpha \beta \psi_{2b} - \beta \omega p_n \psi_{2a} + \frac{U_{1b}}{\sigma}$$

$$\frac{d\psi_{2a}}{dt} = -\alpha \psi_{2a} - \omega p_n \psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a}$$

$$\frac{d\psi_{2b}}{dt} = -\alpha \psi_{2b} + \omega p_n \psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b}$$

Де

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma}$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma}$$

У рівняннях:

ω — кутова швидкість;

$\frac{di_{1a}}{dt}, \frac{di_{1b}}{dt}$ — компоненти вектора струму статора;

$\frac{d\psi_{2a}}{dt}, \frac{d\psi_{2b}}{dt}$ — компоненти вектора потокоццеплення ротора;

U_{1a}, U_{1b} — компоненти вектора напруги статора;

M_c — момент навантаження;

R_1, R_2 — активні опори статора та ротора;

L_1, L_2 — індуктивність статора та ротора;

L_m — індуктивність контуру, що намагнічує;

$L_{1\sigma}, L_{2\sigma}$ — індуктивність розсіювання статора та ротора;

p_n — число пар полюсів;

M — момент, що розвиває двигун.

3.5 Розрахунок схеми заміщення

Виконаємо обчислення характеристик Т-подібної схеми заміщення, поданої на рис.3.9.

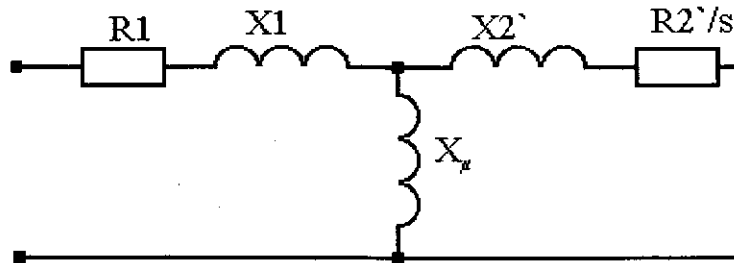


Рисунок 3.9 – Т – подібна схема заміщення

Номінальний струм статора двигуна:

$$I_{1\phi} = \frac{P_{2H}}{3 \times U_{\phi} \times \eta_H \times \cos(\varphi)} \quad (3.21)$$

$$I_{1\phi} = \frac{1500}{3 \times 220 \times 0,781 \times 0,84} = 3,464 A$$

Активний опір статора:

$$R_1 = R'_1 \frac{U_{\phi}}{I_{1\phi}} \quad (3.22)$$

$$R_1 = 0,072 \times \frac{220}{3,464} = 4,57 \text{ Ом}$$

Активний опір ротора, наведений до статора:

$$R'_2 = R''_2 \frac{U_{\phi}}{I_{1\phi}} \quad (3.23)$$

$$R'_2 = 0,047 \times \frac{220}{3,464} = 2,98 \text{ Ом}$$

Реактивний опір статора:

$$X_1 = X'_1 \frac{U_{\phi}}{I_{1\phi}} \quad (3.24)$$

$$X_1 = 0,057 \times \frac{220}{3,464} = 3,62 \text{ Ом}$$

Реактивний опір ротора, наведений до статора:

$$X_2 = X_2'' \frac{U_\phi}{I_{1\phi}} \quad (3.25)$$

$$X_2 = 0.1 * \frac{220}{3.464} = 6.35 \text{ Ом}$$

$$X_{12} = X_\mu \frac{U_\phi}{I_{1\phi}} \quad (3.26)$$

$$X_{12} = 3.4 * \frac{220}{3.464} = 215.94 \text{ Ом}$$

Номінальна синхронна частота обертання двигуна:

$$\omega_o = \frac{\pi n_o}{30} \quad (3.27)$$

$$\omega_o = \frac{3.14 * 3000}{30} = 314 \text{ рад / с}$$

Номінальна частота обертання двигуна:

$$\omega_{дн} = \omega_o (1 - s_H) \quad (3.28)$$

$$\omega_{дн} = 314 * (1 - 0.041) = 301.126 \text{ рад / с}$$

Номінальний електромагнітний момент:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_{дн} \eta} \quad (3.29)$$

$$M_H = \frac{1500}{301.126 * 0.781} = 6.38 \text{ Нм}$$

Взаємна індуктивність статора і ротора:

$$L_{12} = \frac{X_{12}}{2\pi f_n} \quad (3.30)$$

$$L_{12} = \frac{215.94}{2 * 3.14 * 50} = 0.6877 \text{ Гн}$$

Індуктивність статора:

$$L_1 = \frac{X_1 + X_{12}}{2\pi f_n} \quad (3.31)$$

$$L_1 = \frac{3.62 + 215.94}{2 * 3.14 * 50} = 0.699 \text{ Гн}$$

Індуктивність ротора:

$$L_2 = \frac{X'_2 + X_{12}}{2\pi f_H} \quad (3.32)$$

$$L_2 = \frac{6.35 + 215.94}{2 * 3.14 * 50} = 0.708 \Gamma_H$$

$$\sigma = \frac{L_1 L_2 - L_{12}^2}{L_2} \quad (3.33)$$

$$\sigma = \frac{0,699 * 0,708 - 0,6877^2}{0,708} = 0,031018$$

$$\alpha = \frac{R'_2}{L_2} \quad (3.34)$$

$$\alpha = \frac{2,98}{0,708} = 4.209 \frac{O_M}{\Gamma_H}$$

$$\beta = \frac{L_{12}}{L_2 \cdot \sigma} \quad (3.35)$$

$$\beta = \frac{0,6877}{0,708 * 0,031018} = 31,315$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot \beta \cdot L_{12} \quad (3.36)$$

$$\gamma = \frac{4,57}{0,031018} + 4.209 * 31,315 * 0,6877 = 237,98$$

4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу

4.1 Дослідження динамічних характеристик автоматизованої системи керування процесом підігріву конденсату

Для проведення дослідження розглянемо систему в режимі запуску, використовуючи заданий закон управління

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_{1H}}{f_{1H}^2} = const.$$

Модель була розроблена, спираючись на структурну схему системи управління, яка детально описана в третьому розділі. Для аналізу динамічних характеристик цієї системи проведемо її моделювання в програмному середовищі MATLAB.

Модель автоматизованої системи управління подачею повітря до пальника трубчастої печі (рис. 4.1) побудована із взаємопов'язаних блоків, кожен з яких відповідає за виконання окремого функціонального елемента структурної схеми. На рис.4.2 зображено блок, що представляє асинхронний двигун, а на рис.4.3 – блок радіального вентилятора. У складі моделі також передбачено інші ключові компоненти, такі як блок ПІ-регулятора та блок частотного перетворювача, які забезпечують функціональність системи та надають можливість візуалізувати результати моделювання (рис. 4.4–4.6).

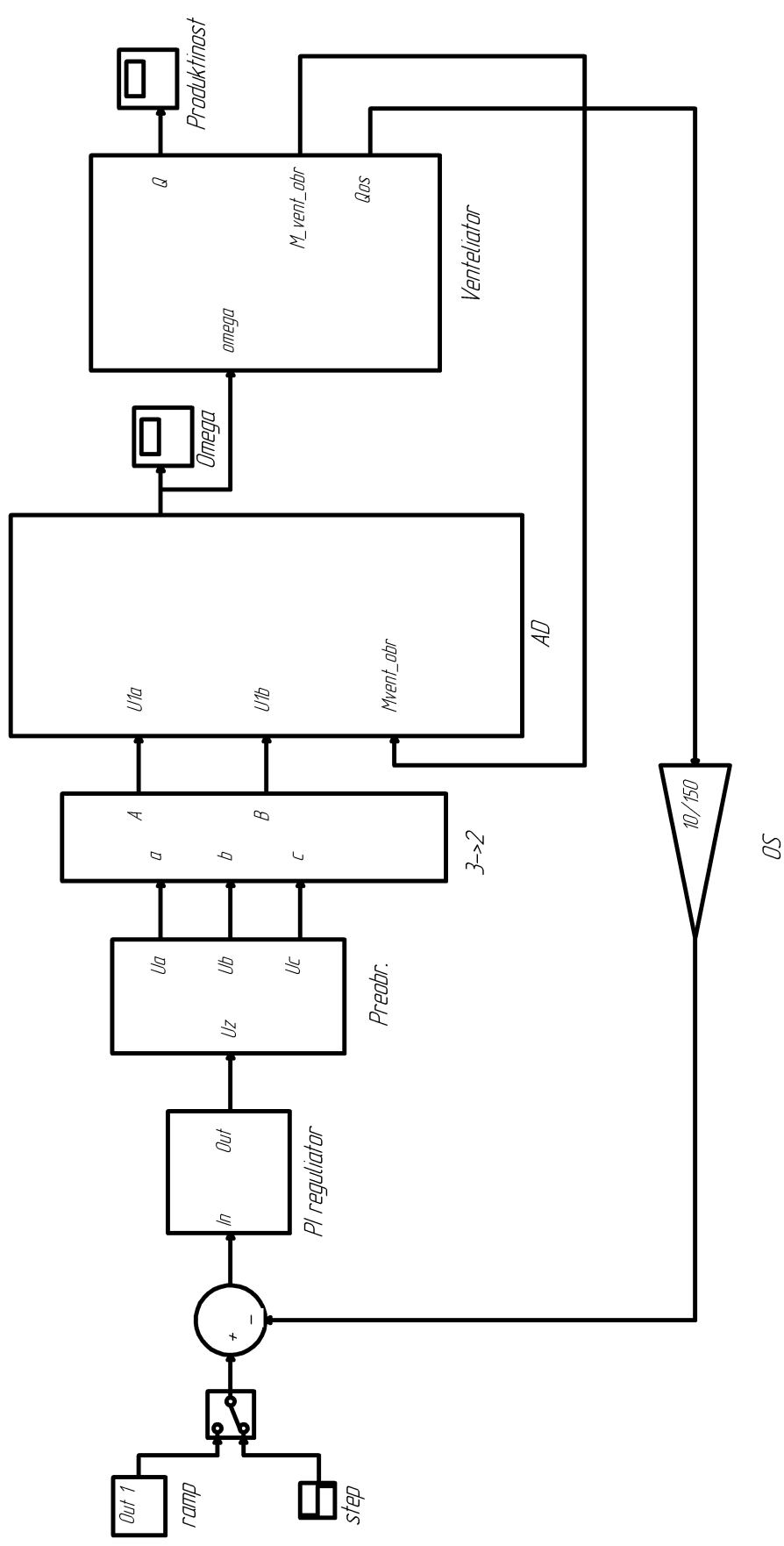


Рисунок 4.1 – Модель автоматизованої системи керування подачі повітря в паливник трубчастої печі

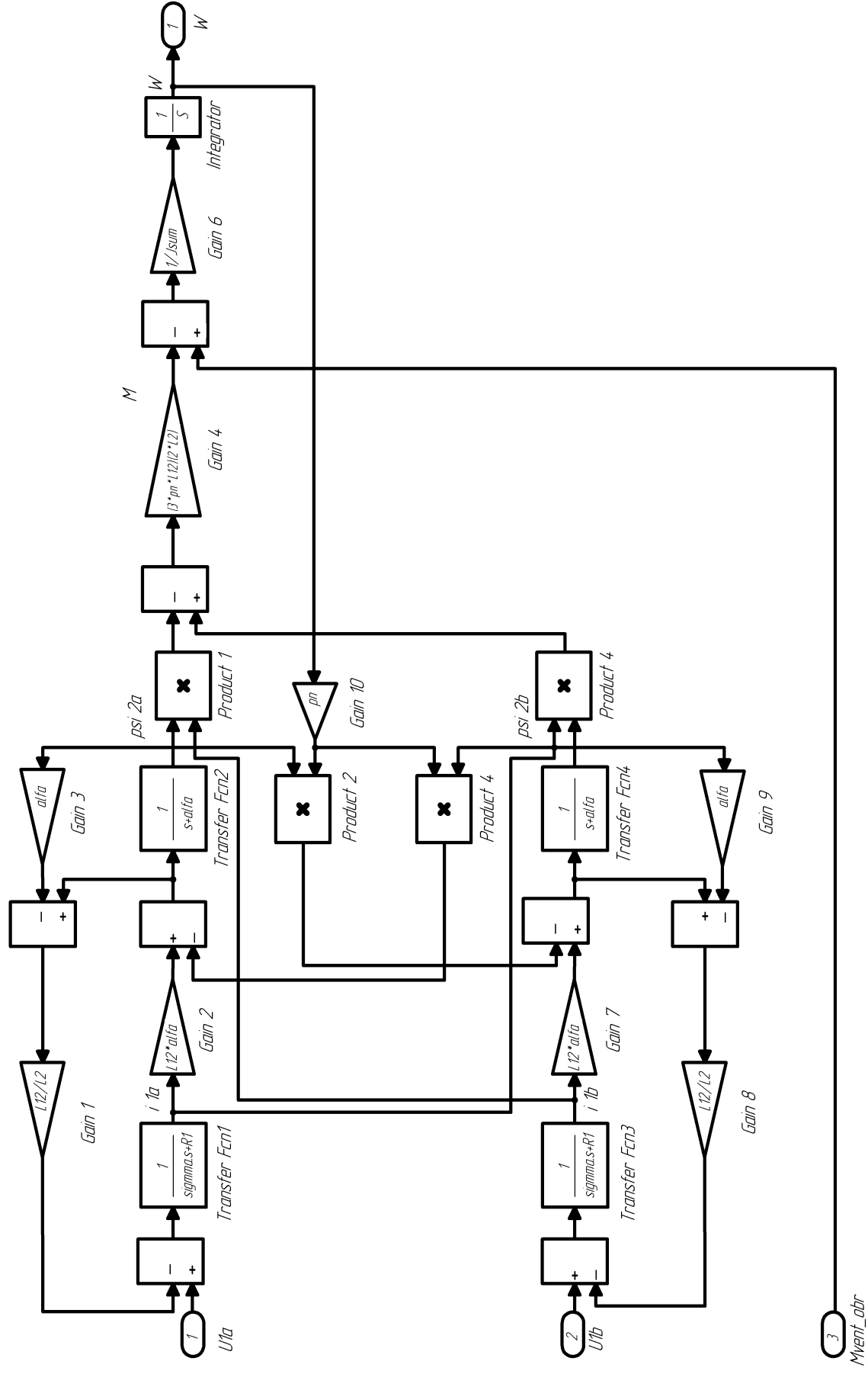


Рисунок 4.2 – Блок асинхронного двигуна

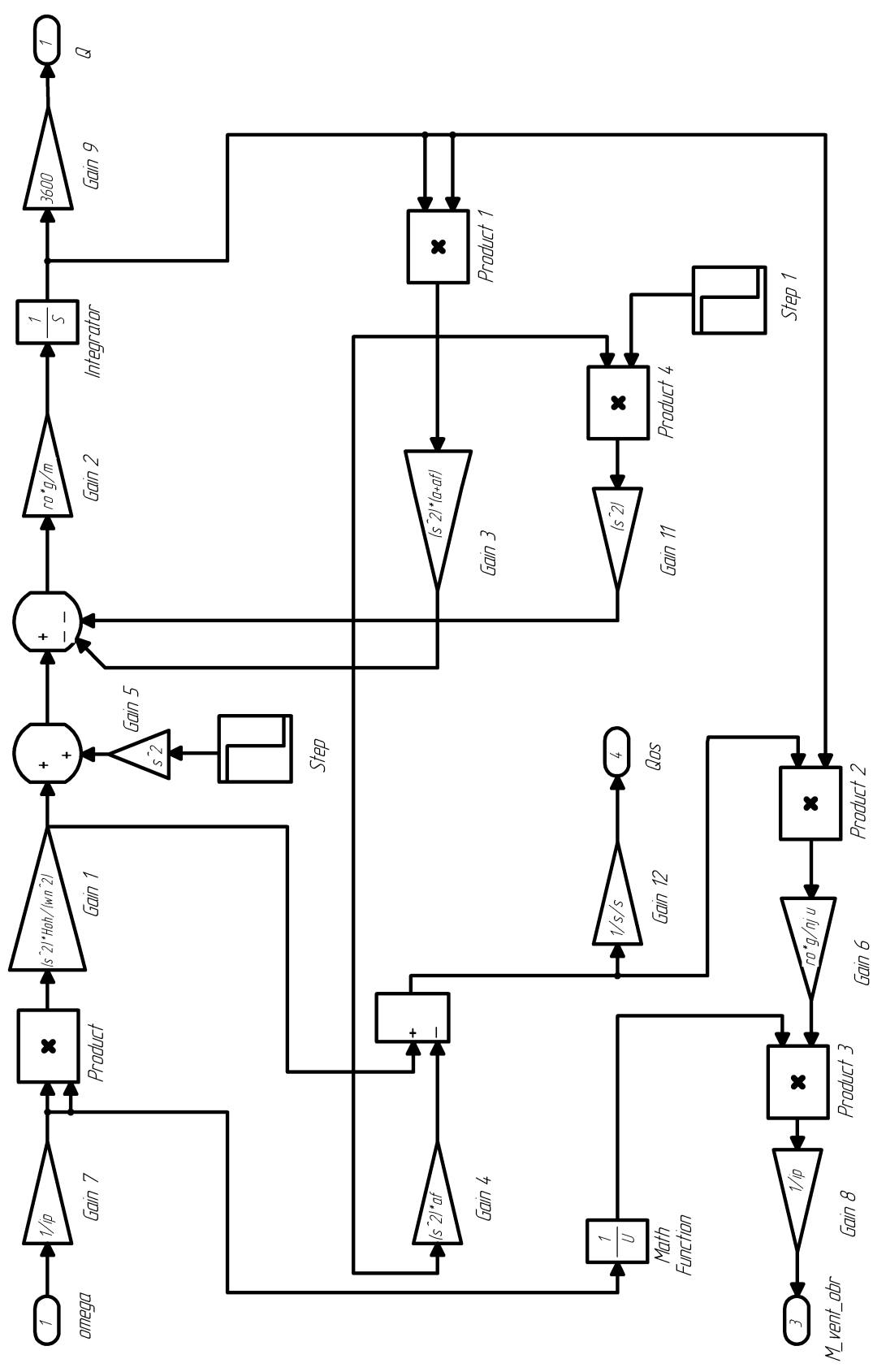


Рисунок 4.3 – Блок радіального вентилятора

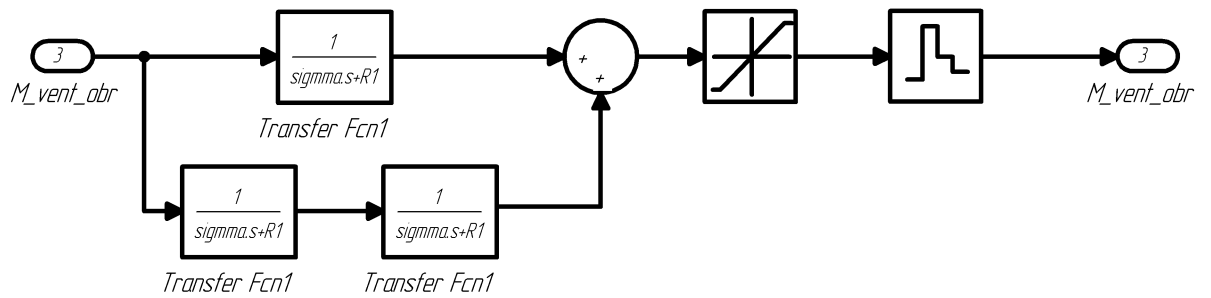


Рисунок 4.4 – Блок ПІ-регулятора

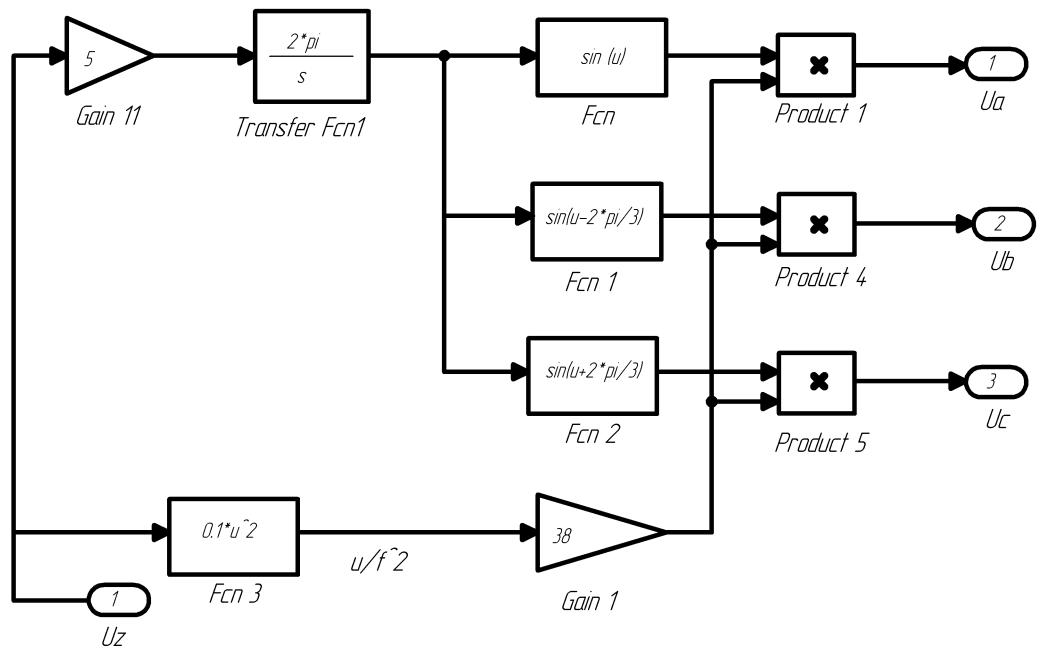


Рисунок 4.5 – Блок частотного перетворювача

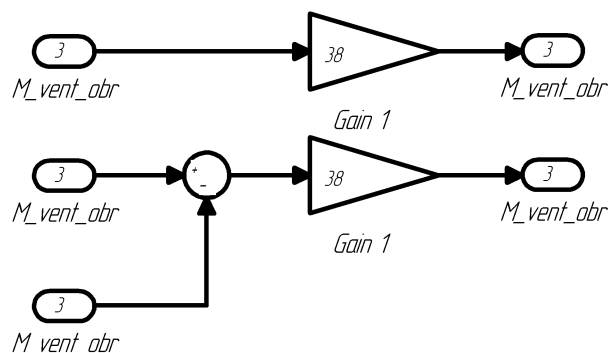


Рисунок 4.6 – Блок перетворювача 3>2

Після виконання моделювання автоматизованої системи регулювання подачі повітря до пальника трубчастої печі, призначеної для підігріву

нестабільного конденсату, було отримано результати у вигляді графіків, які ілюструють динаміку перехідних процесів.

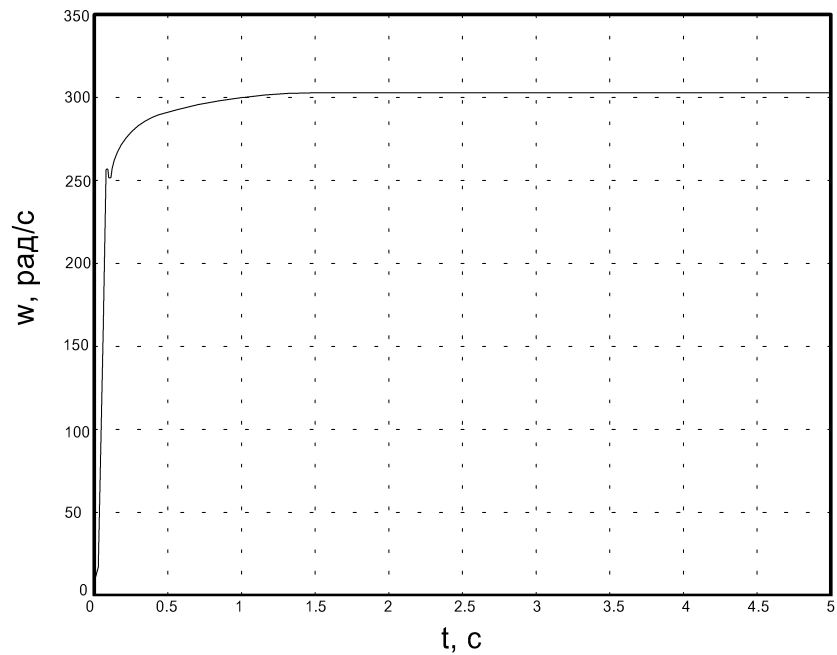


Рисунок 4.7 – Графік, що відображає динаміку змін швидкості вентиляторної установки в автоматизованій системі управління під час перехідного процесу.

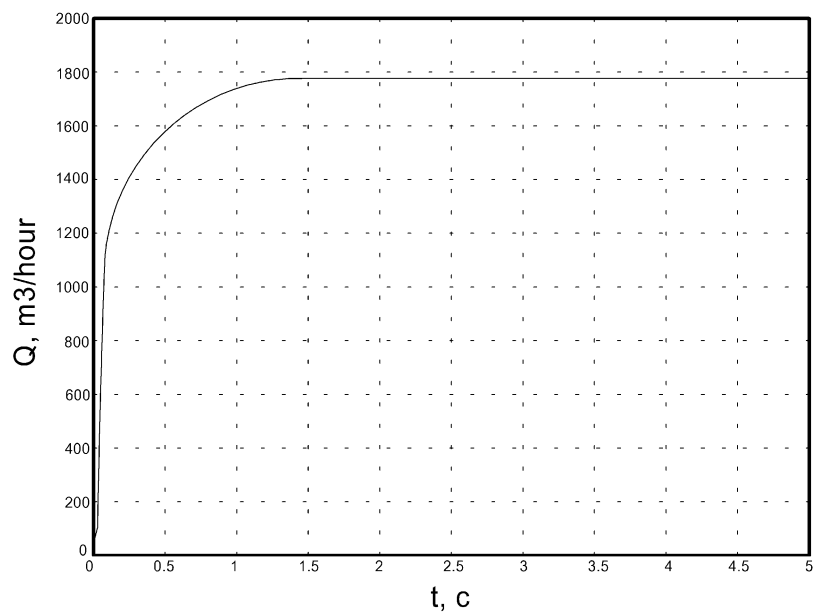


Рисунок 4.8 – Графік перехідного процесу продуктивності вентиляторної установки автоматизованої системи керування

Основними характеристиками якості перехідного процесу є тривалість регулювання, величина перерегулювання та рівень коливальності.

Перерегулюванням називають найбільше відхилення регульованої параметричної величини від її усталеного значення, яке зазвичай виражається у відсотках.

Для графіку, що відображає даний перехідний процес, перерегулювання для швидкості та продуктивності дорівнює .

Коливальність системи визначається кількістю змін регульованої величини протягом періоду регулювання t_p .

Перехідні процеси під час запуску завершуються приблизно за 1,5 секунди, що є відмінним результатом для автоматизованих електроприводів.

У результаті проведеного моделювання вдалося створити якісну модель динаміки перехідного процесу в автоматизованій системі управління, що використовується для контролю процесу нагрівання сировини в установці стабілізації конденсату.

4.2 Визначення стійкості автоматизованої системи керування процесом підігріву конденсату

Стійкість системи в найширшому розумінні можна визначити як її здатність відновлювати своє початкове або близьке до початкового положення після припинення впливу зовнішніх чинників чи збурень, які порушили стан рівноваги системи.

Фактори, які зумовлюють необхідність визначення запасу стійкості системи:

- Під час складання рівнянь, що описують функціонування елементів системи, фізичні процеси піддаються ідеалізації, а численні другорядні чинники не враховуються.

- Помилки, що виникають через лінеаризацію.

- Параметри, які використовуються в коефіцієнтах рівнянь системи (наприклад, маса, моменти інерції, ємність, опір, індуктивність, коефіцієнти підсилення), визначаються із похибками, що можуть сягати 10%. Ця

неточність обумовлена як методами вимірювань, так і точністю використовуваних приладів.

- Зміна характеристик елементів через їх старіння під час експлуатації.

- Коливання параметрів навколишнього середовища, які можуть впливати на роботу системи.

Стійкість системи автоматичного регулювання процесу нагрівання сировини в установці для стабілізації конденсату оцінюється за допомогою логарифмічно-амплітудних і логарифмічно-фазових частотних характеристик відкритої системи, а також з використанням частотного критерію стійкості Михайлова. Частотні критерії надають можливість аналізувати стійкість замкненої системи, ґрунтуючись на частотних характеристиках розімкненої системи, без необхідності прямого розв'язання характеристичного рівняння для визначення його коренів.

Для оцінки стійкості замкненої системи виконують розрахунок та побудову логарифмічних амплітудно-частотних і фазових характеристик для розімкнених контурів. Ці дії здійснюються за допомогою програмного забезпечення MathSoft MathCAD 2000 Professional.

Для створення характеристик у передавальній функції необхідно перейти до частотної області. Для цього виконується підстановка. $p = j \cdot \omega$, $j = \sqrt{-1}$, ω – Частота може варіюватися в діапазоні від нуля до безкінечності. Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика (ЛАЧХ) у такому випадку набуде наступного вигляду:

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega). \quad (4.1)$$

На вертикальній осі відкладається логарифм обраної величини, виражений у децибелах, тоді як горизонтальна вісь представляє частоти, які також подаються в логарифмічному масштабі — це можуть бути октави або декади.

Логарифмічна фазочастотна характеристика (ЛФЧХ) являє собою графічне зображення, яке відображає залежність фази сигналу від частоти в логарифмічному масштабі.

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} . \quad (4.2)$$

У цьому випадку по вертикальній осі відображається значення фази в радіанах, тоді як по горизонтальній – логарифмічний масштаб частоти ω . Запас стійкості по фазі визначається як різниця між 180° та модулем аргументу комплексної передавальної функції, розрахованим на частоті зрізу.

$$\varphi = 180^\circ - |\varphi(\omega)| . \quad (4.3)$$

Резерв стійкості за амплітудою ΔL визначають як кількість децибел, на яку необхідно збільшити коефіцієнт підсилення системи, щоб вона опинилася на межі стійкості.

Отримані характеристики проаналізуємо за допомогою критерію Михайлова, а також обчислимо запас стійкості за амплітудою та частотою для більш детального оцінювання.

Передавальна функція розімкнутого контуру має наступний вигляд:

$$W(p) = \left(K_{II} + K_i \frac{1}{p} \right) \times K_{III} \times \frac{1}{T_M p + 1} \times K_{ПЕР} \times \frac{K_n}{T_n p + 1} \times K_{ТО}$$

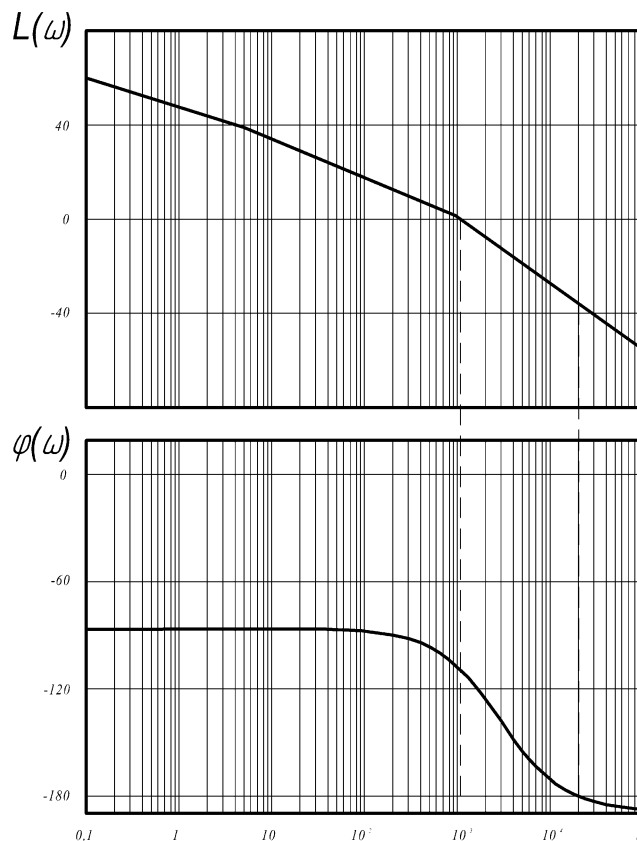


Рисунок 4.9 – Графік амплітудно-фазових характеристик та логарифмічних частотних характеристик для розімкнутої системи автоматичного управління, яка регулює процес підігріву конденсату

На основі представлених графіків для системи автоматичного регулювання можна зробити висновок, що амплітудний запас стійкості дорівнює 36 дБ. Значення фазового запасу стійкості розраховується згідно з виразом (4.4).

$$\gamma = 180^\circ - |-109^\circ| = 71^\circ$$

У процесі проведеного аналізу та виконаних розрахунків було досліджено стійкість системи автоматизованого управління підігрівом сировини в установці стабілізації конденсату з використанням методу Михайлова.

Система має високу стійкість, дотримуючи всі необхідні вимоги щодо перерегулювання, що робить її придатною для застосування в автоматизованих системах. Вона повністю відповідає технічним стандартам, необхідним для роботи засобів автоматизації.

5 Опис організації робіт, що пов'язані із застосуванням автоматизованої системи керування процесом підігріву конденсату

5.1 Побудова електропостачання системи автоматичного керування

Система отримує електроживлення через лінію електропередач із напругою 35 кВ. Живлення подається через головну понижувальну підстанцію, яка оснащена розподільчим пристроєм (РП1) та понижувальними трансформаторами (TV1 і TV2). Ці компоненти взаємопов'язані між собою, як показано на рис.5.1.

Електропостачальна система поділена на дві окремі ділянки, кожна з яких отримує живлення від відповідних розподільних пристроїв, позначених як РП2 і РП3.

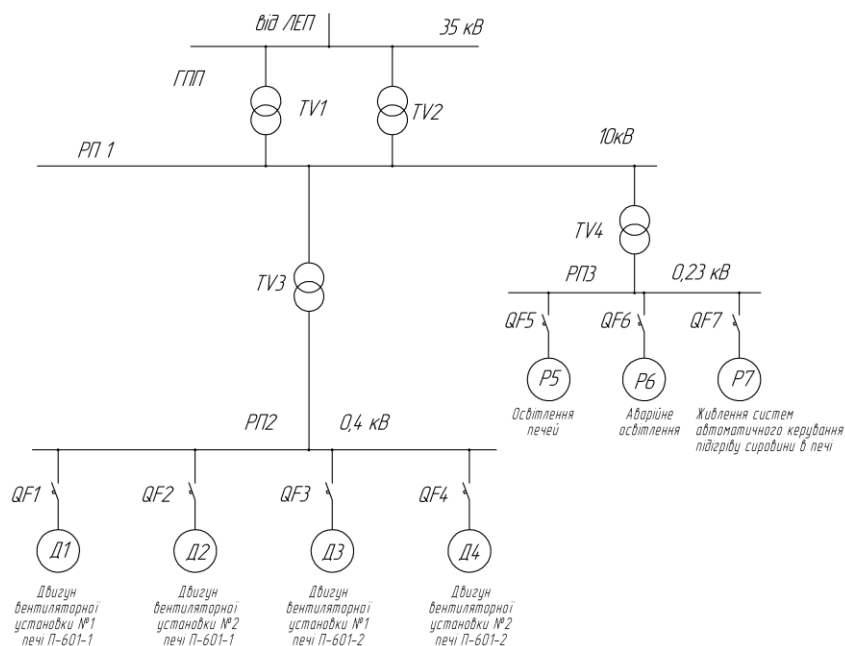


Рисунок 5.1 – Система електропостачання систем автоматичного керування процесом підігріву сировини в установці стабілізації конденсату

Оскільки процес переробки нестабільного конденсату є безперервним і пов'язаний із високими ризиками вибухів та пожеж, вихід з ладу системи керування може створити серйозну загрозу для життя працівників, завдати значної шкоди економіці, а також спричинити пошкодження важливого

обладнання. З метою забезпечення безаварійної роботи та мінімізації можливих наслідків, необхідно передбачити наявність резервної системи керування аналогічного типу. У разі несправності однієї з систем, оператор зможе оперативно переключитися на резервну, тоді як несправна система буде ремонтуватися. Це дозволить забезпечити високий рівень надійності та безпеки безперервного виробничого процесу.

До розподільчого пункту РП2 через понижувальний трансформатор типу TV3, який забезпечує напругу 380 В, підключено такі електричні пристрої:

- двигун вентиляторної установки №1 трубчастої печі П-601-1 Д1 (P_1 , η_1 , $K_{П1}$, $\cos \varphi_1$, L_1);
- двигун вентиляторної установки №2 трубчастої печі П-601-1 Д2 (P_2 , η_2 , $K_{П2}$, $\cos \varphi_2$, L_2);
- двигун вентиляторної установки №1 трубчастої печі П-601-2 Д3 (P_3 , η_3 , $K_{П3}$, $\cos \varphi_3$, L_3);
- двигун вентиляторної установки №2 трубчастої печі П-601-2 Д4 (P_4 , η_4 , $K_{П4}$, $\cos \varphi_4$, L_4).

Усі механізми обладнані трифазними асинхронними двигунами, що мають короткозамкнений ротор. Електрична мережа виконана за допомогою трижильного кабелю з мідними провідниками, який прокладено всередині захисної труби.

Через понижувальний трансформатор TV4, що забезпечує напругу 220 В, до розподільчого пристрою РП3 підключаються такі електричні прилади:

- освітлення трубчастих печей Р5 (P_5 , η_5 , $K_{П5}$, $\cos \varphi_5$, L_5);
- аварійне освітлення Р6 (P_6 , η_6 , $K_{П6}$, $\cos \varphi_6$, L_6);
- живлення систем автоматичного керування підігріву сировини Р7 (P_7 , η_7 , $K_{П7}$, $\cos \varphi_7$, L_7);

Освітлювальна система прокладена з використанням двожильного кабелю, у якому струмопровідними елементами є мідні жили.

Аварійна система сигналізації отримує енергію від незалежного джерела живлення, що забезпечує її автономну роботу.

Щоб забезпечити компенсацію реактивної потужності, за потреби до розподільчого пристрою РП1 підключається батарея конденсаторів для компенсації. Усі споживачі електроенергії мають захист у вигляді автоматичних вимикачів (QF1 – QF7), які забезпечують безпеку та стабільність роботи системи.

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики приймачів електроенергії

Приймач	Параметри приймачів електричної енергії				
	P ₁ , кВт	η ₁ , %	cos φ ₁	K _{П1}	L ₁ , м
Д1	1,5	78,1	0,84	0,25	15
Д2	1,5	78,1	0,84	0,25	16
Д3	1,5	78,1	0,84	0,25	25
Д4	1,5	78,1	0,84	0,25	26
Р5	6	91	0,86	0,63	62
Р6	1,2	91	0,86	0,75	50
Р7	0,5	98	0,87	0,83	27

У розрахунку проведемо розрахунок та вибір:

- площі перерізу всіх кабелів;
- запобіжників.

5.2 Визначення площі перерізу жил кабелів

Номінальне значення лінійного струму, який споживається електричним обладнанням, визначається за допомогою наступної формули:

$$I_{ni} = \frac{P_i}{\sqrt{3}U_{ni} \cos \varphi_i \eta_i}, \quad (5.1)$$

де P_i – потужність і-го споживача; U_{ni} – напруга і-го споживача; cos φ_i – коефіцієнт потужності і-го споживача; η_i – коефіцієнт корисної дії і-го споживача.

Номінальне значення розрахункового лінійного струму електроенергетичного споживача Д1 становить:

$$I_{н1} = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,781} = 3,5 \text{ А};$$

Споживача електричної енергії Д2:

$$I_{н2} = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,781} = 3,5 \text{ А};$$

Споживача електричної енергії Д3:

$$I_{н3} = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,781} = 3,5 \text{ А};$$

Споживача електричної енергії Д4:

$$I_{н4} = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,781} = 3,5 \text{ А};$$

Споживача електричної енергії Р5:

$$I_{н5} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,91} = 20,12 \text{ А};$$

Споживача електричної енергії Р6:

$$I_{н6} = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,91} = 4,02 \text{ А};$$

Споживача електричної енергії Р7:

$$I_{н7} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,98} = 1,54 \text{ А};$$

Відповідно до визначених значень струмів та типу кабелю, проводимо вибір провідників із потрібною площею перерізу жил для кабелів завдовжки L1 – L7. При цьому допустиме значення струму для обраного кабелю має бути не меншим за розрахункове. Усі технічні параметри підібраних кабелів подано в табл.5.2.

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики вибраних кабелів

Споживач	Вид ізоляції	Кількість жил	Матеріал жили	Переріз жили, мм ²	Номінальне струмове навантаження, А
Д1	полівінілхлорид	3	мідь	1,0	15
Д2	полівінілхлорид	3	мідь	1,0	15
Д3	полівінілхлорид	3	мідь	1,0	15
Д4	полівінілхлорид	3	мідь	1,0	15

P5	полівінілхлорид	2	мідь	2,5	27
P6	полівінілхлорид	2	мідь	0,5	11
P7	полівінілхлорид	2	мідь	0,5	11

5.3 Перевірка обраних кабелів по падінню напруги

Відповідно до визначених значень струмів та типу кабелю, проводимо вибір провідників із потрібною площею перерізу жил для кабелів завдовжки L1 – L7. При цьому допустиме значення струму для обраного кабелю має бути не меншим за розрахункове. Усі технічні параметри підібраних кабелів подано в табл.5.2.

Перевірка здійснюється виключно з урахуванням активного опору, виходячи з припущення, що індуктивна складова опору провідника є настільки незначною, що її можна знехтувати (у більшості випадків вона становить менше 0,35 Ом на кілометр). Розрахунок падіння напруги проводиться за такою формулою:

$$\Delta U\%_i = \frac{P_{\text{ні}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ні}}^2} \cdot \frac{L_i}{\gamma_i \cdot S_i} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

де L_i – довжина кабелю, м;

γ_i – питома провідність дроту, м/Ом·мм², для міді $\gamma_{\text{м}} = 57 \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$.

Розрахуємо падіння напруги для обраних кабелів:

$$\Delta U\%_1 = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380^2} \cdot \frac{15}{57 \cdot 1} \cdot 100\% = 0,16\% ;$$

$$\Delta U\%_2 = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380^2} \cdot \frac{16}{57 \cdot 1} \cdot 100\% = 0,2\% ;$$

$$\Delta U\%_3 = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380^2} \cdot \frac{25}{57 \cdot 1} \cdot 100\% = 0,26\% ;$$

$$\Delta U\%_4 = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 380^2} \cdot \frac{26}{57 \cdot 1} \cdot 100\% = 0,27\% ;$$

$$\Delta U\%_5 = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 220^2} \cdot \frac{62}{57 \cdot 2,5} \cdot 100\% = 3,11\% ;$$

$$\Delta U\%_6 = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 220^2} \cdot \frac{50}{57 \cdot 0,5} \cdot 100\% = 2,51\% ;$$

$$\Delta U\%_7 = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 220^2} \cdot \frac{27}{57 \cdot 0,5} \cdot 100\% = 0,57\% ;$$

Згідно з виконаними розрахунками, всі підібрані кабелі відповідають нормативним вимогам ПУЕ, що підтверджує правильність їх вибору.

5.4 Вибір автоматичних вимикачів

Підбір автоматичних вимикачів проводиться на основі пускових струмів $I_{\text{пуск}}$, які визначаються з урахуванням перевантажувальної здатності за струмом. Оскільки в електроприводі використовується частотний перетворювач, що забезпечує плавний запуск, значення пускового струму не перевищує номінального. Для мережі з напругою 0,4 кВ обираються триполюсні автоматичні вимикачі, а для мережі 0,23 кВ застосовуються однополюсні. Вибір пристроїв здійснюється на основі таких технічних характеристик:

$$I_{QF1} \geq 3,5 \text{ А};$$

$$I_{QF2} \geq 3,5 \text{ А};$$

$$I_{QF3} \geq 3,5 \text{ А};$$

$$I_{QF4} \geq 3,5 \text{ А};$$

$$I_{QF5} \geq 20,12 \text{ А};$$

$$I_{QF6} \geq 4,02 \text{ А};$$

$$I_{QF7} \geq 1,54 \text{ А};$$

Технічні параметри автоматичних вимикачів, які було обрано, представлено в табл.5.3.

Таблиця 5.3 – Технічні характеристики автоматичних вимикачів

Автоматичний вимикач	Тип	Номинальна напруга, В	Номинальний струм автоматичного вимикача, А	Струм межі відключення, кА
QF1	ВА 47 – 29 3р	380	4	4.5
QF2	ВА 47 – 29 3р	380	4	4.5
QF3	ВА 47 – 29 3р	380	4	4.5
QF4	ВА 47 – 29 3р	380	4	4.5
QF5	ВА 47 – 29 1р	220	25	4.5
QF6	ВА 47 – 29 1р	220	5	4.5
QF7	ВА 47 – 29 1р	220	2	4.5

5.5 Перевірка захисту проводів електричних ліній від струмів короткого замикання

Для перевірки правильності вибору сили струму автоматичного вимикача, який забезпечує захист електричної мережі від перевантажень, що виникають під час короткого замикання і можуть спричинити пошкодження ізоляції, використовують таке співвідношення:

$$\frac{I_{\text{вст.ст}}}{I_{\text{др.ст}}} \leq 3, \quad (5.3)$$

де $I_{\text{вст.ст}}$ - значення струмів обраних стандартних запобіжників; $I_{\text{др.ст}}$ - значення струмів обраних стандартних дротів.

Обчислимо співвідношення струмів для кожного окремого споживача.

$$\frac{I_{QF1}}{I_{\text{др.см1}}} = \frac{4}{15} = 0,27 \leq 3$$

$$\frac{I_{QF2}}{I_{\text{др.см2}}} = \frac{4}{15} = 0,27 \leq 3 ;$$

$$\frac{I_{QF3}}{I_{op.cm3}} = \frac{4}{15} = 0,27 \leq 3 ;$$

$$\frac{I_{QF4}}{I_{op.cm4}} = \frac{4}{15} = 0,27 \leq 3 ;$$

$$\frac{I_{QF5}}{I_{op.cm5}} = \frac{25}{27} = 0,93 \leq 3 ;$$

$$\frac{I_{QF6}}{I_{op.cm6}} = \frac{5}{11} = 0,45 \leq 3 ;$$

$$\frac{I_{QF7}}{I_{op.cm7}} = \frac{2}{11} = 0,18 \leq 3 ;$$

Виходячи з наведених розрахунків, можна стверджувати, що всі обрані проводи відповідають критеріям перевірки. Отже, можна зробити висновок про доцільність і правильність їхнього вибору.

ВИСНОВКИ

У ході реалізації даної кваліфікаційної роботи була розроблена та спроектована система автоматизованого управління процесом нагрівання сировини на установці, призначений для стабілізації конденсату.

Під час аперіодичного налаштування системи було розроблено ПП-регулятор, який гарантує усунення статичної похибки за критерієм продуктивності. Динамічні характеристики перехідного процесу повністю відповідають заданим технологічним вимогам.

На основі заданих характеристик було підібрано радіальний вентилятор моделі ВЦ 14-46, який працює за рахунок асинхронного електродвигуна серії АИР80А2.

Система управління побудована із використанням частотного перетворювача та мікроконтролера, основою якого є мікропроцесор Atmel AT89C51AC3. Така конфігурація дозволяє досягти оптимальних показників регулювання як у статичних, так і в динамічних режимах.

Для оцінки працездатності системи було створено математичну модель, яка стала основою для проведення моделювання. Результати аналізу засвідчили, що запропоновані параметри налаштування забезпечують високі показники якості динамічних процесів. Зокрема, при регулюванні продуктивності статична похибка виявилася меншою за 1%, тривалість перехідного процесу для швидкості становила 1,5 секунди, а для продуктивності – 1,4 секунди.

На основі викладеного матеріалу можна зробити висновок, що завдання, поставлене для випускної кваліфікаційної роботи, успішно виконане. Створений пристрій володіє потенціалом для практичного використання в реальних умовах.

У розділі, присвяченому охороні праці, встановлено, що автоматизована система управління процесом нагріву конденсату повністю відповідає вимогам безпеки праці. Крім того, у межах цього розділу

виконано детальний розрахунок параметрів штучного заземлення для обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

Додаток А. Охорона праці