

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри автоматики та
 телекомунікацій

_____ Іван ЛАКТИОНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка системи автоматичного контролю температури трубчастих печей у смоляній сировинній промисловості.» / «Development of automatic temperature control system in tubular furnaces in the resin raw material industry»

Виконав студент 4 курсу, групи АКТ-18
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

_____ Коршикова Олексія Олеговна
(Прізвище, Ім'я та По-батькові)

_____ (підпис)

Керівник ст.викладач каф.АТ Ступак Г.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

_____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я)

_____ (підпис)

Нормоконтроль:

_____ ас. Дар'я ЖУКОВСЬКА
(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра

Тема: «Розробка системи автоматичного керування завантаження вагонів з використанням технологій Industry 4.0» / «Development of an automatic control system for loading wagons using Industry 4.0 technologies»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. АКТ–18

Олексій КОРШИКОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Іван ЛАКТІОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Луцьк – 2022

}

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Автоматика та телекомунікації
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ
Іван ЛАКТИОНОВ

« ____ » _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Коршикоа Олексійя Олеговича

-

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка системи автоматичного контролю температури трубчастих печей у смоляній сировинній промисловості.» / «Development of automatic temperature control system in tubular furnaces in the resin raw material industry»

керівник проекту (роботи) ст. викладач каф. АТ Ступак Гліб Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від « ____ » « ____ » 2022 року № ____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналітичний огляд. 2) Обґрунтування напрямку автоматизації трубчатої печі. 3) Розрахунок і моделювання системи автоматичного регулювання. 4) Заходи з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3	ст. викладач каф. АТ Ступак Г.В.		
1	Поцепаєв В.В., доц. каф. АТ, доц.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітичний огляд.	25.04.2022	
2	Обґрунтування напрямку автоматизації	05.05.2022	
3	Розробка функціональної схеми	09.05.2022	
4	Вибір обладнання автоматизації	15.05.2022	
5	Розробка алгоритмів	25.05.2022	
6	Математичне моделювання системи	30.05.2022	
7	Розробка заходів з охорони праці	04.06.2022	
8	Оформлення	06.06.2022	

Студент _____
(підпис)**Олексій КОРШИКОВ**
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)**Гліб СТУПАК**
(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Коршиков Олексій Олегович «Розробка системи автоматичного контролю температури трубчастих печей у смоляній сировинній промисловості» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Зміст пояснювальної записки до бакалаврської роботи:

Об'єкт розробки – система автоматичного керування Температурою шляхом контролю засувок подачі «газ-повітря» в трубчастій печі.

Мета роботи – Розробка системи для трубчастої печі, яка підвищить сталість температури в секціях печі, що дозволить підтримувати якість кінцевого продукту на виході з печі, а також забезпечить економічну витрату палива та підвищить к.к.д печі за допомогою системи автоматичного регулювання співвідношення "газ-вітер".

Методи й засоби розробки: методи теорії систем, теорії автоматичного керування, математичного моделювання.

Розробка системи автоматичного керування температурою трубчастої печі передбачає більш повне та економічне спалювання палива введенням в систему автоматичного регулювання температури шляхом керування співвідношенням «газ-повітря». Запропоновано регулювання подачі повітря та палива в дві основні камери печі в яких проходять хімічні та фізичні процеси. Таким чином буде підвищена її надійність та зменшені витрати на її експлуатацію, також буде підвищено к.к.д печі.

Ключові слова: СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ, ТРУБЧАТА ПІЧ. КОНТРОЛЕР, КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ, КОНТРОЛЬ ТИСКУ, КОНТРОЛЬ ВИТРАТ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	5
1.1 Проблематика.....	5
1.2 Аналітичний огляд та аналіз об'єкту контролю і управління.....	6
1.3 Огляд кінцевого продукту.	8
1.4 Теплообмін у трубчастій печі.....	9
1.5 Тепловий баланс процесу	14
2. ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТРУБЧАТОЇ ПЕЧІ.	20
2.1 Аналіз процесу та обґрунтування значень допустимих відхилень.	20
2.2 Технічні вимоги до систем автоматизації.....	21
2.3 Аналіз існуючого обладнання для контролю витрат, тиску та температури.	21
2.4 Розробка структурної схеми САК.....	22
2.5 Синтез функціональної схеми.....	23
2.6 Вибір технічних засобів САК.....	24
2.6.1 Вибір універсального комп'ютера обробки сигналів.....	25
2.6.2 Вибір датчика температури.	29
2.6.3 Вибір датчику тиску.	30
2.6.4 Вибір витратоміра.....	31
2.6.6 Дистанційна схема спрацьовування засувки.	32
2.7 Висновки до розділу 2.....	33
3.1 Розрахунок параметрів динамічних моделей каналом регулюючої дії та перевірка її адекватності.....	34
3.2 Побудова математичної моделі ОР.....	37
3.3 Розрахунок параметрів настроювання автоматичних регуляторів.....	42
3.4 Дослідження перехідних процесів в САР при оптимальних параметрах настроювання ПІ-регулятора.....	47
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54
A.1 Призначення та будова трубчатих печей.....	56
A.2 Пожежна небезпека трубчатих печей	58
A.3 Протипожежний захист трубчатих печей.....	61
A.4 Вимоги до електрообладнання	62
A.5 Вимоги до протипожежного режиму	62
ДОДАТОК Б.....	64
Технічні характеристики універсального компютера SensyCal.	64
ДОДАТОК Г	66

Технічні характеристики датчику тиска МІДА-13П.....	66
Технічні характеристики витратоміра FLUXUS G721	67

ВСТУП

Актуальність роботи. Трубчаста піч - це основна технологічна одиниця, яка використовується в смолянистій промисловості. Вона використовується для високотемпературних нагрівань продуктів на основних стратегіях переробки кам'яновугільної смоли.

У світі як правило саме теплові процеси грають ключову роль переробці сировини. Фізичні та хімічні явища часто супроводжуються тепловими випромінюваннями, які безпосередньо складають основу технологічних процесів. Через це в сучасності стоїть питання контролю теплових процесів для реалізації сталості технічних процесів

При експлуатації трубчастої печі, саме про таку характеристику як температура судять посередньо, за температурою коксового газу та його хімічного складу в місці його переходу з камери радіації в камеру конвекції, за так званою температурою «перевалу».

Метою регулювання трубчастих печей є підтримка сталості температури продукту на виході за печі та контроль витрат енергоресурсів .

Мета роботи – розробка системи регулювання температури в трубчастій печі, що забезпечує повне й економічне спалювання палива за рахунок введення в систему автоматичного регулювання температури системою керування співвідношенням «газ-повітря» для покращення к.к.д печі.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування Температурою шляхом контролю засувки подачі «газ-повітря» в трубчастій печі.

Методи й засоби розробки: методи теорії систем, теорії автоматичного керування, математичного моделювання.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена система автоматичного керування може бути використана на практиці в завданнях проектування нових та модернізації існуючих трубчастих печей.

Структура та обсяг бакалаврської роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань на використану літературу та додатків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Проблематика

Основним технічним обладнанням для переробки кам'яновугільної смоли є трубчасті печі, призначені для нагрівання продуктів до температури одноразового випарювання речовин з метою подальшого поділу на різні фракції. Від сталості температури в трубчастій печі залежить весь технологічний процес виготовлення кам'яновугільної смоли.

Слід зазначити, що найважливіший показник технологічного процесу, це температура кінцевого продукту, оскільки саме температура продукту визначає якість і кількість фракцій. Тому основне завдання під час експлуатації трубчастої печі є забезпечення постійного температурного режиму, який залежить від безлічі різних факторів.

Мінливість робочого середовища є особливістю при експлуатації трубчастої печі, оскільки хімічний склад як палива, що використовується для обігріву продукту і самого продукту завжди різний.

Коливання температури печі відбуваються через мінливість складу димових газів, які входять в складальне коксового газу, що і призводить до порушення температурного і гідравлічного режиму. Основною проблемою використання коксового газу як палива для трубчастої печі, це наявність різних домішок, які викликають інтенсивне засмічення пальників, і так само корозію зовнішньої поверхні продуктового змішувача

Сама ж кам'яновугільна смола є складною багатокомпонентною структурою, властивості та склад якої сильно змінюється від будь-яких умов: системи очищення продукту від різних домішок, складова і якість вугільної шихти, системи відбору коксового газу тощо. Найбільше на надійність експлуатації трубчастої печі впливає наявність корозійних речовин, вологість, зольність смоли.

Конструктивні особливості розташування труб у камерах конвекції та камерах радіації призводять до неможливості забезпечення рівномірного та збалансованого прогрівання поверхні змійовика, що у свою чергу проявляється перегріванням та призводить до інтенсифікації процесів коксоутворення та прогрівання труб.

1.2 Аналітичний огляд та аналіз об'єкту контролю і управління

Трубчасті печі використовуються на будь-якому нафтопереробному та нафтохімічному заводі у всіх основних процесах переробки. Це пов'язано з тим, що трубчаста піч – найбільш економічно вигідний і ефективний процес нагрівання нафтових фракцій.

Основними характеристиками трубчастих печей є: продуктивність печі, кількість сировини, що нагрівається в трубних змієвіках в одиницю часу.

У радіантній секції тепло передається за рахунок радіаційної теплопередачі шляхом поглинання у чистого тепла.

У конвекційній секції тепло передається за рахунок конвективної передачі тепла шляхом омивання поверхні труб димовими газами. Усередині печі розташований багаторазовий вигнутий сталевий трубопровід змійовик, по якому безперервно прокачується суміш, що нагрівається. Суміш подається в конвекційну секцію, після чого проходить радіанну секцію. Рідке та газоподібне паливо спалюють у пальниках радіантної камери.

В результаті підвищується температура димових газів і факела, що світиться, являє собою розпечені частинки гарячого палив.

Теплові промені падають на зовнішні поверхні труб та внутрішні поверхні стінок радіантної камери печі.

Розігріті стіни починають випромінювати тепло, яке поглинають поверхні радіантних труб.

Більшість використовуваного тепла передається в радіантні секції інше

конвекційні секції. Димові гази проходять конвекційну секцію, омивають труби, що знаходяться там, віддаючи тепло.

Як правило, ефективність передачі тепла за допомогою процесу конвекції викликано швидкістю пересування димових газів [1].

Більшість смолопереробних підприємств працюють за технологічною схемою, наведеної на рисунку 1.2.1 Основними апаратами цих установок є двоступінчаста трубчаста піч, що обігриває коксовим, доменним або природним газом і ректифікаційною колоною в якій відбувається ректифікація випарюваної частини смоли з одержанням окремих фракцій.

Сировину, яка відстоюється перекачують у проміжні сховища, котрі розміщені в близькості від трубчастої печі. Одне із проміжних сховищ має бути порожнім для випадків аварійної зупинки, коли необхідно прийняти гарячу смолу.

Із проміжного сховища 1 смолу поршневими насосами 2 (у вибухозахисних оболонках) подають на першу ступінь (конвекційну секцію) трубчастої печі 4, звідки підігріта до 135 - 145°C смола самопливом надходить у випарник першої ступені 5 [1].

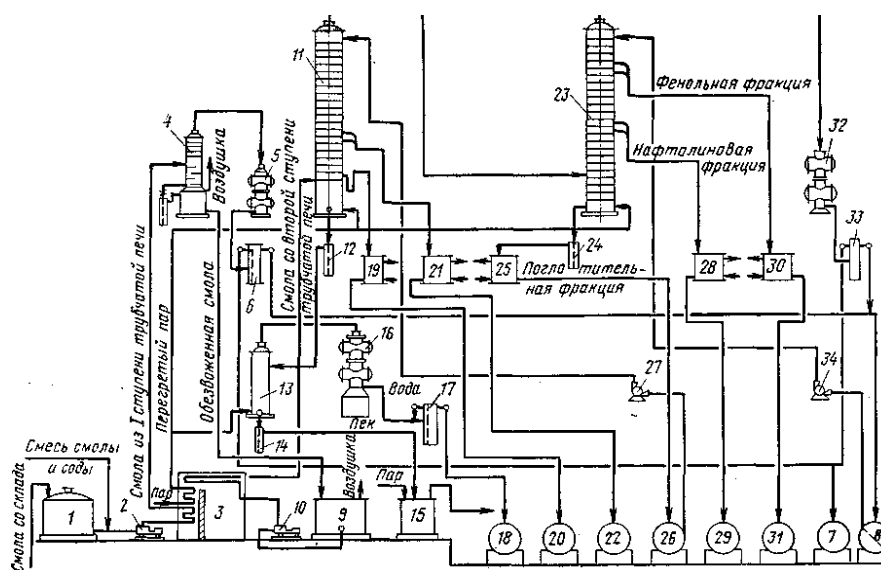


Рисунок 1.1 — Технологічна схема трубчастої смолоперегонної установки системи Гипрококосу

На цій стадії з продукту видаляються різні легкі фракції, а також пари води (близько 0,25%). З випарника суміш пару надходить у конденсатор-холодильник, а з останнього у вигляді конденсату - у сепаратор, де відбувається відділення води від легкого масла. Із сепаратора масло й вода приділяються у відповідні збірники. Подавана в першу ступінь трубчастої печі смола попередньо змішується із содовим розчином для запобігання корозійної дії, що втримуються в надсмольній воді й смолі агресивних солей амонію [1].

Збезводнена смола з нижньої частини випарника першої ступені надходить за допомогою насосів 3 (у вибухозахисних оболонках) у змішувач другої ступені (радіантну секцію) трубчастої печі 4. Розігріта до температури 360-380°C смола перекачується у випарник другої ступені 6 [1].

У випарнику перегріта смола розділяється на рідку й парову фази. Рідка фаза (під) через гідрозатвор 7 самопливом надходить на установку високотемпературного пеку (УВТП).

Пари тобто суміш парів всіх фракцій з випарника другого щабля надходять у ректифікаційну колону, для одержання окремих фракцій.

1.3 Огляд кінцевого продукту.

Кам'яновугільна смола (дъоготь); продукт коксування кам'яного вугілля (вихід 3,5% від маси вугільної шихти). Термодинамічно нестійка дисперсна система олігомерів, їх асоціатів та мелених кристалів. Щільність. 1,17-1,20 г/см³, нижча теплота згоряння 35,6-39,0 МДж/кг, т. самозаймання. 580-630 ° С; ГДК у повітрі робочої зони 15-10-4 мг/м³. До складу кам'яновугільної смоли входить близько 10 тис. з'єднань, з яких виділено та ідентифіковано понад 480 (до 50% від загальної маси). Одну третину маси кам'яновугільної смоли складають сліди. сполуки (зміст у % за масою) [2].

Вихід та склад кам'яновугільної смоли залежать від складу вугільної шихти та умов її коксування. З поглибленням ступеня піролізу первинних

продуктів коксування зростають щільність кам'яновугільної смоли, вміст у ній нафталіну, нерозчинних у толуолі та хіноліні речовини, збільшується вихід кам'яновугільного пеку. Поруч із знижуються виходи фенолів, низькокиплячих масел, метилнафталинов та інших. вуглеводнів. Кам'яновугільна смола містить емульговану воду, яка конденсується разом з нею з коксового газу. У воді розчинені солі амонію $[NH_4Cl, NH_4SCN, (NH_4)_2S, (NH_4)_2SO_4]$, CO_2 , H_2S і т.д. У кам'яновугільній смолі є також нерозчинні у ній вуглецеві речовини - фуси, які є основною частиною зольного залишку. Перед переробкою кам'яновугільної смоли з неї необхідно видалити воду та розчинені солі, що викликають корозію обладнання, а також фуси, що підвищують зольність пеку та забруднюють апаратуру. Це досягається відстоюванням кам'яновугільної смоли у спец. сховищах або центрифугування. Переробка кам'яновугільної смоли полягає у розподілі її на фракції ректифікацією з послід. кристалізацією, екстракцією та повторною ректифікацією отриманих фракцій [2].

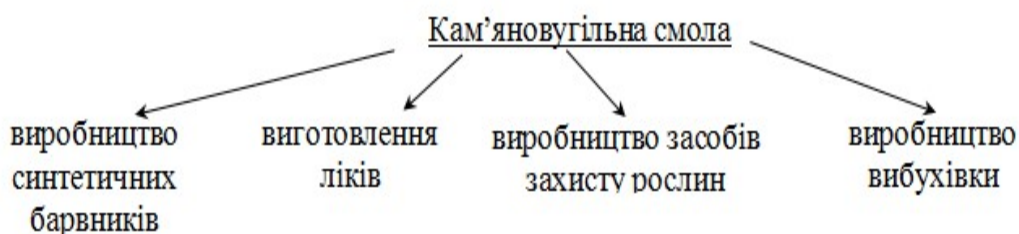


Рисунок 1.2 — Сфери застосування кам'яновугільної смоли

1.4 Теплообмін у трубчастій печі.

Трубчаста піч має дві камери де проходить основні процеси, це камери радіації та конвекції. В камері конвекції проходить процес конвекції, тобто димові гази стикаються з нагрівальною поверхнею за рахунок випарювання домішок із продукту. А саме в камерах радіації розміщені екрани які

поглинають тепло після процесу радіації. Саме в цих камерах спалюють паливо.

Продукт послідовно проходить через конвекційну камеру до радіантної. В радіантній камері продукт поглинає найбільшу частину тепла, яке виділяється при згорянні палива та при процесі радіації.

Передача тепла найефективніше передається продукту, коли димові гази охолоджують до 1000-1200 К. Таке зниження температури стається не виправданим тому що радіантні камери починають працювати зі зниженою теплонапругою. Радіантні екрани починають поглинати менше тепла, в таких випадках значно збільшують їх поверхню. Процес теплопередачі в радіантній камері також значно залежить від температури палива та газів які подаються в камеру, але сама камера конвекції нехтує температурою палива, оскільки температура в камері підвищується за рахунок димових газів, які виділяються під час процесу конвекції, тобто температура випарених речовин, і також камера може забезпечити їх охолодження до коефіцієнту коли корисна дія буде економічно виправдана [3].

Конвекційна поверхня не є обов'язковою, в такому випадку значно зменшують розмір камери. Іноді в випадках коли виробництво має невеликий розмір продуктивності використовують печі, які не мають конвекційну поверхню, але в таких печах невеликий коефіцієнт корисної дії.

Оскільки тепло віддалених газів може бути використане також і для інших процесів, то в таких випадках іноді нехтують конвекційною поверхнею, в таких випадках зазвичай значно зменшують розміри конвекційної поверхні і роблять опір на димові гази. В деяких випадках коли у печі мала продуктивність можуть застосовувати камери без конвекційної поверхні, такі камери простіші і економічні але мають невеликий коефіцієнт корисної дії.

На приклад процесу обміну тепла в печі можна розглянути піч, яка складається із двох камер, з настільним полум'ям. Особливість такої печі є похило розташовані форсунки знизу печі, які дозволяють факелу доторкатись до поверхонь стіни, розміщеної в центрі камери.

Форсунками в паливну камеру такої печі вводять розпорошене паливо, і так само в камеру надходить повітря, яке необхідне для процесу горіння. Інтенсивна взаємодія з повітрям забезпечує високий ступінь дисперсності палива, що покращує його ефективність горіння.

Дотик факела з поверхнею стіни зумовлює підвищення його температури; тепло походить не тільки від парів видалених фракцій, а також і від розігрітій стіни. Тепло палива використовується для підвищення температури димних газів; інші ж нагріваються і утворюють факел, який мерехтить.

Характеристики факела, такі як його розмір і конфігурація, залежать від безлічі факторів, окремо варто звернути увагу на кількість і температуру повітря, яке подається для палива, також відіграє важливу роль спосіб подачі повітря, щодо конструкції форсунки, тепло утворююча здатність палива та масштабність радіантної поверхні теж відносяться до цих факторів.

Якщо температура повітря підвищується то також підвищується і температура факела, це призводить до скорочення розміру та швидкості горіння факела. Також при збільшенні кількості повітря прискорюється процес горіння палива, що призводить також призводить до скорочення розміру факела.

А при недостатньому кількості повітря смолоскип стає розтягнутим. Паливо в печі не повністю згорає, що призводить до зниження тепла смолоскипа. Зайва кількість повітря також недопустима, внаслідок цього підвищується втрата тепла, та збільшується кількість димових газів. Як наслідок поверхні нагрівання окислюються.

Часто особливістю конструкції печі є розміщення вторинного каналу подачі повітря в порожнечі всередині стіни печі. Це дозволяє підвищувати температуру стіни по довжині факела, що дозволяє стінам випромінювати тепло і підвищує рівномірну передачу тепла в камері радіації.

В таких печах тепло випромінювання надається факелом і триатомними газами (діоксид сірки, двоокис вуглецю, водяна пара), що мають здатність вибірково виділяти та поглинати промені певних довжин хвилі.

Деяка частина променів проходить крізь проміжок між трубами і потрапляє на поверхню кладки. Ці промені розігрівають кладку і вона випромінює тепло, яке поглинається частиною труб, яку покриває кладка [3].

Вторинні випромінювачі називають середню стіну, або стіни кладки у яких розміщені труби або які вільні від труб.

Не тільки за допомогою випромінювання радіантні труби одержують тепло, а також від димових газів, що стикаються з поверхнею труби.

Взаємовипромінювання, це процес коли зовнішня частина труби також випромінює деяку кількість тепла, але як правило температура такого випромінювання значно менша за температуру інших джерел, оскільки значну кількість тепла труба втрачає безпосередньо безперервним дотиком до продукту. Тому як наслідок взаємовипромінювання це передача продуктом трубі необхідної кількості тепла.

Як результат теплопередач, які проходять у камері радіації, димові гази охолоджуються та переходять у камеру конвекції, де вони стикаються з більш холодною поверхнею [3].

Передача тепла в камерах конвекції здійснюється трохи іншим способом. Основна частина тепла передається шляхом процесу конвекції близько 60-70% від загальної кількості тепла в камері. Інші ж відсотки, це випромінювання тепла палива, близько 20-30%. І решта 10%, як правило, це випромінювання кладки конвекційних камер.

Одним із основних факторів, який визначає результативність передачі тепла процесом конвекції, це швидкість димових газів. Тому при конструюванні намагаються досягти максимального значення. Здійснити це можна, розташувавши мінімальну кількість труб в одному горизонтальному ряду, і обравши мінімальну відстань меду осями труб. Як наслідок у камері конвекції через підвищення швидкості димових газів, також збільшується опір потоків газу. Однак, зменшення кількості труб дозволяє збільшити висоту камери [3].

Визначальним чинником, що впливає швидкість і ефективність передачі

тепла, це порядок розміщення труб. Існує два способи, шаховий та коридорний. Зокрема на практиці використовують шахове розміщення, оскільки таке розміщення труб викликає інтенсивність потоку димових газів, за статистикою при однакових швидкостях димових газів, шахове розміщення забезпечить передачу тепла на (20 - 30%) ефектніше ніж коридорним [3].

Так само на практиці використовують зменшення діаметра труб, це також підвищить інтенсивність передачі тепла, оскільки гази краще обтікатимуть труби, це так само дозволяє створити кращі умови для швидкості димових газів, а так само дозволяє конструктивно компактно їх розмістити. Але, у таких випадках опір переміщення потоку збільшується, що призводить до збільшення швидкості сировини, що нагрівається.

Обрібнення зовнішніх поверхонь труб, також підвищує ефективність передачі тепла. Оскільки в камері конвекції в основному температура досягається за рахунок димових газів, коли сировина проходить через труби, при обрібненні поверхні збільшується зіткнення димових газів з трубою. Різниця температур між сировиною та газом це основна залежність при процесі конвекції. Як правило, у напрямку руху газу температура зменшується, оскільки газ передає свою тепло сировину, за рахунок цього і піднімається температура сировини. При підвищенні температури сировини на градус димові гази охолоджуються на п'ять-сім градусів. Найбільший температурний тиск спостерігається при вході димових газів в камеру конвекції, а найменший - при їх виході. З цієї причини у напрямку руху димових газів зменшується і кількість тепла, що поглинається трубами [3].

Випромінювання, в камері конвекції значно менше впливає ніж у камері радіації, і менше передає тепла сировини, через низьку температуру газу, і через менший діаметр труб. Ефективність товщини газового потоку в камерах конвекції визначається відстанню між суміжними рядами труб. У напрямку руху димових газів, як правило, так само зменшується випромінювання від них, що викликає зменшення передачі тепла.

В окремих випадках теплонапряга конвекційних труб може бути більшою

за радіаційні труби. Це досягається унікальністю розташування конвекційних труб, коли вони розташовані в перших рядах і отримують тепло як від випромінювання, так і від процесу конвекції.

1.5 Тепловий баланс процесу

Мета етапу: крім к.к.д. і витрати палива розрахувати теплопродуктивність трубчастої печі (повну теплове навантаження), значення якої необхідно для вибору її типорозміру [3].

Рівняння теплового балансу для трубчастої печі виглядає так:

$$Q_{\text{прих.}} = Q_{\text{расх.}}, \quad (1.1)$$

Розрахунок теплового балансу ведеться на 1 кг палива.

Статті витрат тепла:

$$Q_{\text{расх.}} = q_{\text{пол.}} + q_{\text{ух.}} + q_{\text{пот.}}, \quad (1.2)$$

де $q_{\text{пол.}}$, $q_{\text{ух.}}$, $q_{\text{пот.}}$ - відповідно корисно сприйняте в печі сировиною, що втрачається з йдуть з печі димовими газами, що втрачається в навколишнє середовище, кДж / кг [3].

Статті приходу тепла:

$$Q_{\text{прих.}} = Q_p^H + C_m \cdot t_m + \alpha \cdot L_0 \cdot C_v \cdot t_v + W_{\phi} \cdot C_{\phi.n.} \cdot t_{\phi.n.}, \quad (1.3)$$

де C_m , C_v , $C_{\phi.n.}$ - відповідно теплоємності палива, повітря, форсуюча водяної пари, кДж / кг [4];

t_m , t_v , $t_{\phi.n.}$ - температури палива, повітря, форсуюча водяної пари.

Явне тепло палива, повітря і водяної пари зазвичай невелика і ними часто в технічних розрахунках нехтують [3].

Отже, рівняння теплового балансу запишеться в наступному вигляді:

$$Q_{прих.} = Q_{расх.} \approx Q_p^H, \quad (1.4)$$

$$Q_{прих.} = q_{пол.} + q_{ух.} + q_{ном.} = Q_p^H, \quad (1.5)$$

$$q_{пол.} = Q_p^H - q_{ух.} - q_{ном.}, \quad (1.6)$$

звідки коефіцієнт корисної дії трубчастої печі:

$$\eta = \frac{q_{пол.}}{Q_p^H} = 1 - \frac{q_{ух.}}{Q_p^H} - \frac{q_{ном.}}{Q_p^H}, \quad (1.7)$$

де $\frac{q_{ух.}}{Q_p^H}$, $\frac{q_{ном.}}{Q_p^H}$ - Відповідно втрати тепла з димовими газами і втрати тепла в навколишнє середовище в частках від нижчої теплотворної здатності палива [4].

Втрати тепла в навколишнє середовище q_{nim} . Приймаємо 6% (0,06 в частках) від нижчої теплотворної здатності палива, тобто [3].

$$\frac{q_{ном.}}{Q_p^H} = 0,06, \quad (1.8)$$

Звідки

$$q_{ном.} = Q_p^H \cdot 0,06 = 42215,504 \cdot 0,06 = 2532,93 \text{ кДж / кг},$$

Температура вихідних димових газів визначається рівністю:

$$t_{yx.} = t_1 + \Delta t = t_1 + (100 \div 150), \quad (1.9)$$

де t_1 - температура нагрівається продукту на вході в піч;

Δt - різниця температур теплоносіїв на вході сировини в змішувальну камеру конвекції; приймаємо $\Delta t = 130$ [3];

$$t_{yx.} = 130 + 130 = 260^{\circ} \text{C} (533 \text{ K}).$$

При цій температурі визначаємо втрати тепла з газами, що:

$$q_{yx.} = q_{533} = (533 - 273) \cdot (3,117 \cdot 0,9324 + 1,17 \cdot 1,9096 + 0,8271 \cdot 0,9441 + \\ + 13,6896 \cdot 1,0385 + 0,02 \cdot 0,6755) = 5239,4 \text{ кДж / кг.}$$

$$q_{пол.} = 42215,504 - 5239,4 - 2532,93 = 34443,174 \text{ кДж / кг.}$$

Отже, визначаємо к.к.д. печі:

$$\eta = 1 - \frac{5239,4}{42215,504} - 0,06 = 0,82.$$

Розрахунок корисної теплової навантаження трубчастої печі виробляємо за формулою:

$$Q_{пол.} = G \cdot \left[e \cdot q_{t_2}^n + (1 - e) \cdot q_{t_2}^{жс} - q_{t_1}^{жс} \right], \quad (1.10)$$

де G - Продуктивність печі по сировині, кг / год;

$q_{t_2}^n$, $q_{t_2}^{ж}$, $q_{t_1}^{ж}$ - Відповідно тепломісткість парової та рідкої фази при температурі t_2 , рідкої фази (сировини) при температурі t_1 , кДж / кг. e - частка відгону сировини на виході із змійовика трубчастої печі [3].

Тепломісткість парів нафтопродуктів визначається за рівнянням:

$$q_t^n = \left((50,2 + 0,109 \cdot t + 0,00014 \cdot t^2) \cdot (3,992 - 0,9952 \cdot \rho_4^{20}) - 73,4 \right) \cdot 4,1868,$$

де ρ_4^{20} - відносна щільність; для конденсованих парів $\rho_4^{20} = 0,8$;

$$\begin{aligned} q_{350}^n &= \left((50,2 + 0,109 \cdot 350 + 0,00014 \cdot 350^2) \cdot (3,992 - 0,9952 \cdot 0,8) - 73,4 \right) \cdot 4,1868 = \\ &= 1104,3 \text{ кДж / кг.} \end{aligned}$$

Рівняння для розрахунку теплосмісту рідких нафтопродуктів має вигляд:

$$q_t^{ж} = \frac{0,403 \cdot t + 0,000405 \cdot t^2}{\sqrt{0,9952 \cdot \rho_4^{20} + 0,00806}} \cdot 4,1868,$$

де відносна щільність нафти $\rho_4^{20} = 0,9$;

$$q_{350}^{ж} = \frac{0,403 \cdot 350 + 0,000405 \cdot 350^2}{\sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,00806}} \cdot 4,1868 = 839,7 \text{ кДж / кг};$$

$$q_{130}^{ж} = \frac{0,403 \cdot 130 + 0,000405 \cdot 130^2}{\sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,00806}} \cdot 4,1868 = 260,9 \text{ кДж / кг.}$$

Розраховуємо корисну теплове навантаження печі:

$$Q_{пол.} = \frac{3800 \cdot 1000}{24} \cdot [0,38 \cdot 1104,3 + (1 - 0,38) \cdot 839,7 - 260,9] = 107,57 \cdot 10^6 \frac{\text{кДж}}{\text{год.}}$$

Визначаємо повну теплове навантаження печі:

$$Q_m = \frac{Q_{пол.}}{\eta} = \frac{107,57 \cdot 10^6}{0,82} = 131,183 \cdot 10^6 \frac{\text{кДж}}{\text{год.}} = 36,44 \text{ МВт.}$$

Часова витрата палива:

$$B = \frac{Q_{пол.}}{Q_p \cdot \eta} = \frac{107,57 \cdot 10^6}{42215,504 \cdot 0,82} = 3107,46 \text{ кг / ч.}$$

Висновки: 1) розрахунки даного етапу показали, що коефіцієнт корисної дії нашої печі $h = 0,82$, тобто досить високий, тому що для трубчастих печей значення к.к.д. знаходиться в межах від 0,65 до 0,85 [1, с.439] [3];

2) повне теплове навантаження печі склала 36,44 МВт.

1.6 Мета та завдання роботи

Мета розробки – Розробка системи автоматичного регулювання температури трубчастої печі, що забезпечує повне й економічне спалювання палива за рахунок введення в систему автоматичного регулювання температури системи керування співвідношенням «газ-повітря» та підвищення к.к.д. печі.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати наступні завдання:

1) Розробити функціональну схему системи автоматичного керування трубчастої печі.

2) Розробити математичні розрахунки отриманих результатів.

1.7 Висновки до розділу 1

В цьому розділі було виконано аналітичний огляд трубчастої печі, як об'єкта автоматизації. На основі цього було визначено головні обурення об'єкту

- Теплотворна здатність палива.
- Розрідження повітря.
- Витрати та температура вихідного продукту.
- Кількість та температура повітря, що подається для спалювання палива.

2. ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТРУБЧАТОЇ ПЕЧІ.

2.1 Аналіз процесу та обґрунтування значень допустимих відхилень.

Проаналізувавши об'єкт управління, з першого розділу ми можемо зробити наступний висновок: тепловий баланс печі значно впливають витрати повітря і газу, температура повітря, та теплотворна здатність палива, а також конструкційні особливості печі. В наш час САК - це сукупність контрольованого об'єкта та контрольно-вимірювальних приладів. Вони призначені для отримання інформації про відхилення технологічних властивостей від номінальних значень. При проектуванні САК розглядають передусім параметри, які найбільше впливають на ведення технологічного процесу. Це можуть бути вхідні або вихідні параметри або змінні при зміні яких можуть виникати обурення системи.

На основі докладного аналізу технологічного процесу трубчастої печі та зроблених висновках ми можемо розробити автоматичну систему регулювання температури в печі, яка буде враховувати наступні параметри:

- Температура повітря та палива.
- Витрати повітря та палива.
- Розрідження повітря.
- Температура кінцевого продукту.

В проектованій системі закладено принцип контролю засувками та передачі інформації між контролерами, за допомогою протоколу PtP (Point-to-Point), з передачею інформації на диспетчерський пульт за допомогою програмованого логічного контролера. Використання протоколу PtP дозволить синхронізувати усі пристрої за часом. А контролер дозволить будувати математичні розрахунки температури в печі.

2.2 Технічні вимоги до систем автоматизації

Оскільки система автоматизації контактує з температурами на підприємстві, система повинна витримувати і в нормальному режимі функціонувати в цих умовах, або точно зчитувати їх на відстані, піддаючись менш високим температурам.

Існує також проблема частоти збору інформації для подальшого контролю. Так як температура зчитується людьми, то істотно грає людський фактор.

Система автоматизації повинна зчитувати постійно температуру печі, або раз у момент знаходження смоли у другий рівень, повинна зчитувати точно, в період часу до 15 хвилини передавати отриману інформацію на пульт, блок управління зусівками. Саме тому мінімізація роботи людини в даному аспекті, спричинить поліпшення якості продукції, що отримується в процесі.

2.3 Аналіз існуючого обладнання для контролю витрат, тиску та температури.

Як правило, кожна трубчаста піч і смолопогонний куб, повинен бути обладнаний контрольно-вимірювальними пристроями, зокрема для вимірювання температури, тиску продукту, а також витрат палива. [4].

На сьогоднішній день промисловість випускає велику кількість різноманітних контрольно-вимірювальних приладів (КВП). З їх допомогою роблять виміри показників фізичних, хімічних або технологічних процесів.

Принцип роботи контрольно-вимірювальних приладів заснований на аналізі перетворених даних, отриманих в результаті вимірів параметрів роботи досліджуваних процесів. Також існують механічні вимірювальні прилади, які по влаштуванню набагато простіше.

Класифікація КВП

За родом вимірюваних величин КВП можна розділити на кілька типів:

- термометри та термопари. Вони призначені для виміру різних температурних показників;
- манометричний. Призначені для виміру тиску;
- рівнеміри. Призначені для виміру різних рівнів, глибин і ступеня наповненості різних ємностей;
- витратоміри. Призначені для замірів витрати різних рідин і газів.

Також існують контрольно-вимірювальні прилади, за допомогою яких отримують дуже точні показники ступеня вологості, щільності і складу різних газоподібних речовин.

Всі вимірювальні прилади мають такий показник як чутливість. Цим показником визначається можливість приладу фіксувати або вловлювати найменші коливання або відхилення вимірюваних параметрів. Чим вище ступень чутливості приладу - тим краще його реакція на найменші зміни заміряються параметрів.

Якість і можливості сучасних контрольно-вимірювальних приладів такі, що вони здатні не тільки надточно знімати різні показники, а й автоматично передавати дані на пункт контролю тех.процесу.

Витратоміри необхідні для того, щоб визначити, яка кількість речовини проходить через ємність за певний часовий інтервал. Найчастіше виміру піддаються різні рідини, а також паливо і газ.

2.4 Розробка структурної схеми САК.

На рисунку 2.1 зображена структура системи контролю та регулювання температури у смоляної сировинній промисловості

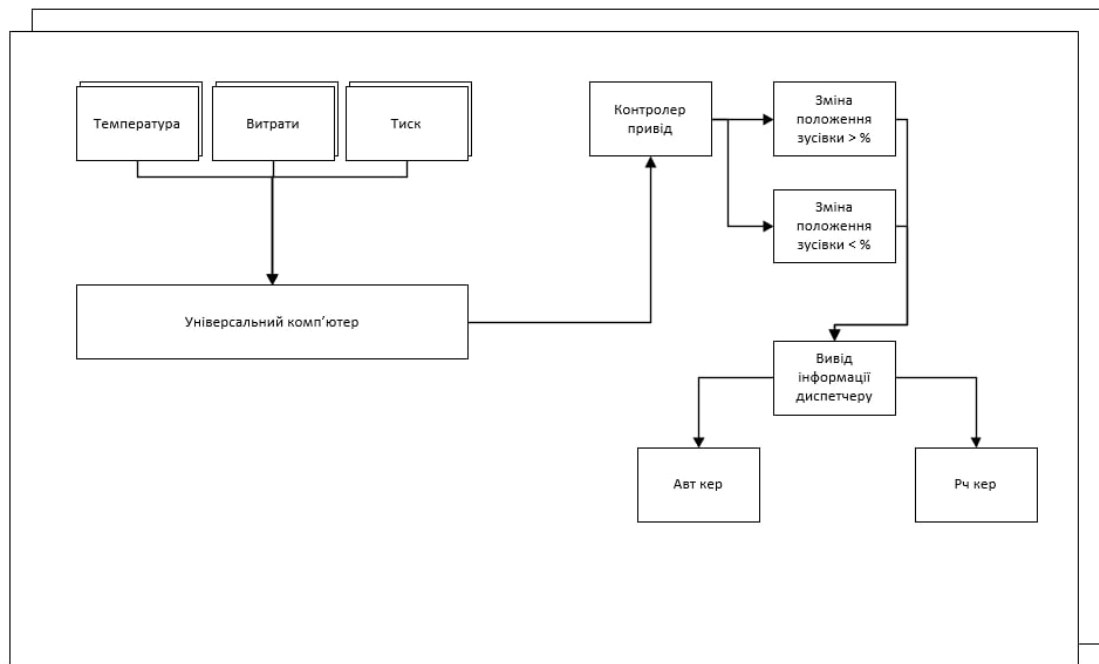


Рисунок 2.2 – Функціональна схема автоматичного контролю температури трубчастої печі у смоляній сировинній промисловості.

Т-температура, В-витрати.

З датчиків інформація поступає до ПЛК контролеру який обробляє данні та робить математичні розрахунки які описані у 3-му розділі та подає сигнал до контролеру-приводу, який з отриманою інформацією збільшує, або зменшує потоки палива та повітря. Після контролер-привод відправляє інформацію на ПЛК контролер який виводить всю інформацію диспетчеру

Також за цією схемою ми бачимо що система може працювати у двох режимах: автоматичному або ручному режимі.

2.6 Вибір технічних засобів САК.

Для створення САК трубчастої печі необхідні наступні елементи: програмований логічний контролер, датчики температури, тиску, витратометр, привід-контролер, операторська панель.

2.6.1 Вибір універсального комп'ютера обробки сигналів.

Комп'ютер SensyCal – це універсальний вимірювальний комп'ютер, який підтримує цілий ряд програм обробки сигналів процесу. Дані електронні блоки можуть бути використані також для контролю температури робочого середовища завдяки обробки сигналів витрати, температури, тиску з подальшим обчисленням маси пари або газу, а також теплового балансу.

- Простота використання
- Низька вартість системи завдяки відсутності периферійних пристроїв
- Ясно помітна індикація на багатофункціональному дисплеї
- Функції конфігурації, що дозволяють налаштувати блок відповідно до призначення та умов експлуатації
- Можливість швидкого знімання інформації.
- Здатність передачі команд на інші пристрої.

На рисунку 2.3 зображено універсальний комп'ютер SensyCal



Рисунок 2.3 – Комп'ютер SensyCal

Витрата газу та повітря на власні технологічні потреби - неминучий витрата ресурсів на технологічні паливні та непаливні потреби і технологічні втрати, пов'язані з проведенням обов'язкових технологічних операцій з підтримки необхідного режиму експлуатації і обумовлений ступенем досконалості застосовуваних технологічних процесів і якістю експлуатації

газопромислові об'єктів.

Технологічні втрати - неминучі втрати, пов'язані з прийнятою схемою та технологією розробки і облаштування родовища, включаючи об'єкти видобутку, підготовки та внутріпромислових транспортування, а також з рівнем техніки і технічних засобів, що застосовуються на ГДП.

Нормативні витрати на власні технологічні потреби - витрата ресурсів в межах нормативів, обумовлених технологіями видобутку, підготовки та внутріпромислових транспортування відповідно до затвердженого проекту облаштування родовища.

Нормативні витрати - встановлює граничне значення споживання ресурсів за розрахунковий період при проектних (регламентних) параметрах експлуатації газопромислових об'єктів і обґрунтовується відповідними розрахунками та (або) експериментами.

Для зменшення технологічних втрат можна реалізувати автоматизований контроль витрат за допомогою датчиків. До автоматизованості контролю витрат можна додати автоматизоване управління вентилями за допомогою приводу контролера, що полегшить роботу співробітників виробництва.

Завдяки комп'ютерам SensyCal ми можемо відстежувати температуру повітря та палива, також температуру продукту на стадіях перевалу та на виході з печі. Всі можливості універсального комп'ютера ми бачимо на рис 2.4 [5].

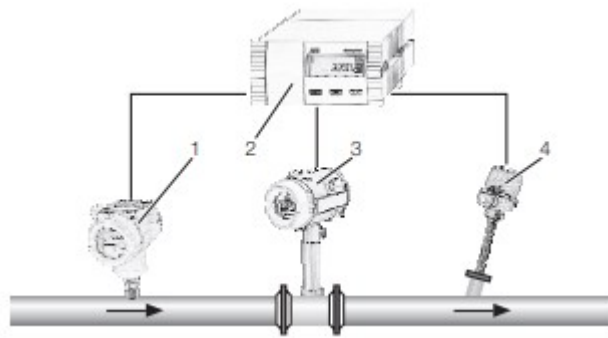


Рисунок 2.4 – Схема можливостей універсального комп'ютера SensyCal.

1 – Датчик тиску. 2 – Вимірювальний комп'ютер. 3 – Витратомір. 4 – Датчик температури.

Для нашої печі ми обрали модель FCU - це універсальний вимірювальний комп'ютер, який підтримує цілий ряд програм обробки сигналів процесу. Це поєднує найсучасніші методи спілкування з багатьма роками досвіду в галузі вимірювальної техніки. Всі фізичні та електричні змінні процесу, а також пристрій дані, дані реєстратора даних і дати виставлення рахунків, можуть відображатися на багаторядковий РК-дисплей з високою роздільною здатністю [5].

А саме ми виберемо модель FCU400S - це комп'ютер для визначення кількості тепла промислові та теплові баланси. Надійна мікроелектроніка, розроблена у відповідності з стандарти DIN EN ISO 1434-1 ... 6 і OIML75. Комп'ютер кількості тепла можна використовувати разом з усіма стандартними витратомірами, що видають імпульсний сигнал, частотний сигналу або сигнал мА, наприклад, діафрагми, ультразвук витратоміри, вихрові витратоміри. Підключення датчиків температури Pt100 в чотири провідну схему забезпечує точне вимірювання температури. Мікропроцесорна технологія та вбудований реєстратор даних забезпечують надійне відстеження отриманих операційних цінностей [5].

Кількість тепла розраховується на основі об'ємної або масової витрати тепла і температур теплового потоку (T_w) і температур холодного потоку (T_k) на відстежуваному рівні тиску.

Також є рекомендації щодо послідовності підключення каналів універсального комп'ютера від виробника, ними ми скористаємося в нашій системі, рекомендації щодо підключення зображені на рис 2.5. [5].

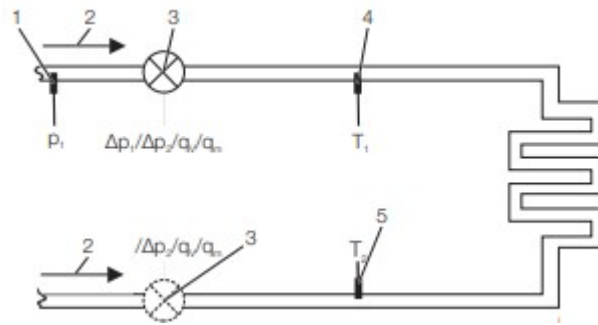


Рисунок 2.5 – Рекомендації підключення каналів від виробника.

1 – Датчик тиску. 2 - Прямий потік. 3 – Витратомітер. 4 – Датчик температури повітря. 5 – Датчик температури палива.

На рисунку 2.6 зображена схема підключення базового пристрою FCU400S [5].

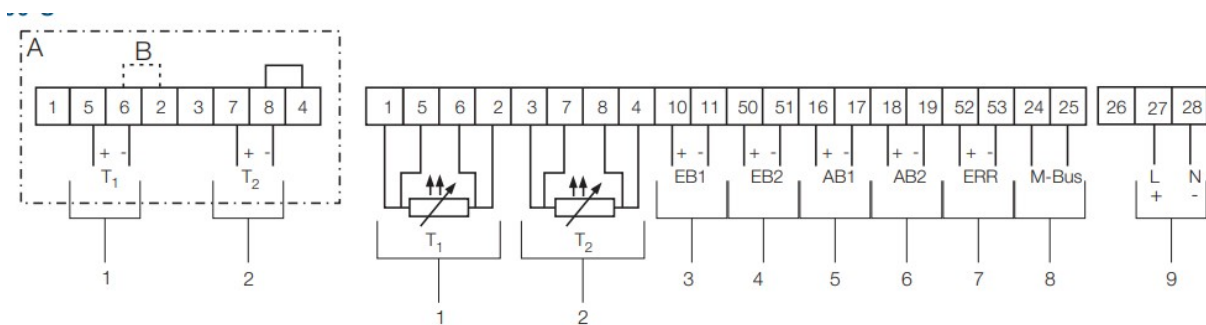


Рисунок 2.6 – А – альтернативне підключення для датчиків температури з активним вихідним струмом. В - об'єднувальний провід. 1 – вихід для датчиків температури в прямому потоці повітря. 2 – Вихід для датчика температури в прямому потоці палива. 3 – Імпульсний/частотний вхід (витратомір повітря). 4 - Імпульсний/частотний вхід (витратомір палива). 5 – Імпульсний вихід (тиск повітря). 6 – Імпульсний вихід (тиск палива). 7 – Виведення помилки. 8 – Інтерфейс. 9 – Блок живлення.

2.6.2 Вибір датчика температури.

Для виміру температур повітря/палива, та температури продукту ми використаємо датчик Pt100. Датчики Pt 100 є найбільш поширеним типом термометрів опору з чутливим платиновим елементом. Датчик Pt 100 є датчиком температури, що вимірює електричний опір з використанням чутливого елемента з платини (Pt) і має діапазон вимірювання до 600 °C.

Опір металу збільшується із підвищенням температури. Опір при 0 °C становить 100 Ом, звідси і назва Pt 100. Також доступні датчики Pt 500 та Pt 1000 з відповідним опором при 0 °C. Тому датчик Pt 100 можна використовувати для отримання показань температури. Датчик здійснює вимірювання з більшою точністю, ніж інші типи термометрів опору, наприклад, напівпровідникові термодатчики і каналні датчики температури, в яких використовуються чутливі елементи з інших металів, але є також більш дорогим рішенням. Датчик Pt 100 може вимірювати температуру в діапазоні до 600 °C, тоді як інші датчики мають верхню межу діапазону вимірювання на рівні близько 150 °C [6].

Датчики, що підключаються з використанням кабелів більшої довжини, можуть давати неточні показання через власний електричний опір кабелю. Це можна компенсувати за рахунок використання трипровідних датчиків, у яких третій провід вимірює опір кабелю. Однак для цього потрібен відповідний регулятор.

На рисунку 2.7 зображено датчик температури Pt100 [6].

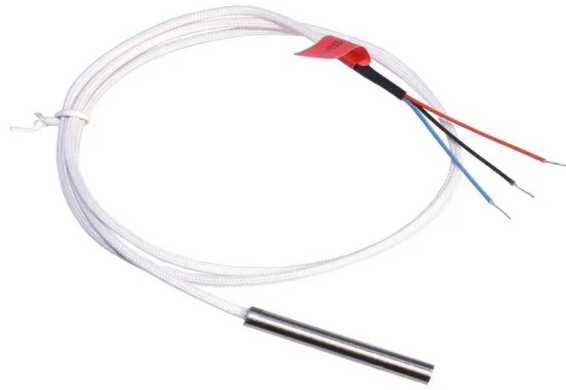


Рисунок 2.7 – Датчик температури Pt100.

2.6.3 Вибір датчику тиску.

Датчиком тиску в нашій системі буде МІДА-13П. Датчики тиску МІДА-13П призначені для безперервного перетворення значення надлишкового (ДН), абсолютного тиску (ТА), розрідження (ДР), надлишкового тиску – розрідження (ДТР) рідин та газів, неагресивних до матеріалів контактуючих деталей (титанові сплави та корозійностійка сталь), в уніфікований сигнал постійного струму або напруги постійного струму в системах контролю та управління тиском. Невибухозахищені датчики МІДА-13П експлуатуються з блоками живлення, задовольняючими вимогами, у тому числі з блоками живлення МІДА-БП-104, МІДА-БП-106. Датчик є єдиною конструкцією: первинний перетворювач (тензоперетворювач) об'єднаний в одному корпусі з електронним блоком (вторинним перетворювачем) [7].

На рисунку 2.8 зображено датчик МІДА-13П [7].



Рисунок 2.8 – Датчик тиску МІДА-13П.

2.6.4 Вибір витратоміра.

FLUXUS G721 пропонує безконтактне вимірювання витрати практично будь-якого повітря/газу (від природного газу до технологічних газів) у широкому діапазоні діаметрів труби (від 6 мм до більше 2 м), незалежно від товщини стінок, матеріалу та внутрішнього тиску (не більше обмеження тиску і починаючи з 3 бар на сталевих трубопроводах та нижче атмосферного тиску на пластикових трубах). Для газового витратоміра FLUXUS G721 навіть гарячий газ [8].

Додаткову цінність додають розширені можливості самоконтролю лічильників та можливість запису даних щодо подій. Витратомір постійно контролює якість виміру. Такі значення, а також будь-які інші дані вимірювання, а також дані, що вводяться ззовні, наприклад, тиск і температура, можуть бути вибрані для запуску певних функцій вимірювача. Наприклад, якщо якість вимірювання падає нижче попередньо визначеного значення, тимчасовий запис даних вимірювання з високою роздільною здатністю може бути автоматично запущений. Такі вільно налаштовані тригери на основі подій не тільки ідеально підходять для діагностики вимірювань, але навіть більшою мірою для точного моніторингу процесів, а також спостереження та управління критично важливими операціями.

Рисунку 2.9 зображено витратомір FLUXUS G721 [8].



Рисунок 2.9 – витратомір FLUXUS G721.

2.6.5 Автоматичне керування засувками.

Серія CRA120 - контролер, що підтримує постійну температуру теплоносія, підходить для систем великого розміру та клапанів типу 3F. Виріб чудово підходить для сфер застосування, де потрібна підтримка постійної температури. Встановлення температури виконується за допомогою зручних кнопок та графічного інтерфейсу, або за командами процесорів. Контролер розроблений для управління ротаційними клапанами DN 15-150 та має робочий діапазон 30-300°. Серія може легко керуватися вручну кнопкою вимкнення та важелем, або автоматично командами інших пристроїв [9].

На рисунку 2.10 зображено привід контролер CRA120.



Рисунок 2.10 – Привід контролер CRA120.

2.6.6 Дистанційна схема спрацьовування засувки.

Шляхове (дистанційне) управління має на увазі собою команди з пульта,

подані оператором з певної відстані. Щоб проводити маніпуляції з кнопками на пульті, потрібно попередньо встановити перемикачі в режим дистанції.

Для чого потрібно включити автомат в стан «дистанційний», перемикач в стан «включити», а вимикач в положення «вимкнути». Для відкривання засувки диспетчеру потрібно включити тумблер, відповідно, спрацює реле, потім включається пускач. Запускається електродвигун і відкривається запірний механізм засувки.

При піднятті затвора до кінцевого положення, включається мікрОВИМИКАЧ КВО, подається команда на пускач, і двигун вимикається. В цей же час замикається контакт, що дає команду на лампу сигналізації диспетчеру. Закриття затвора відбувається аналогічно.

На рисунку 2.11 зображена схема монтажу на клапони [9].

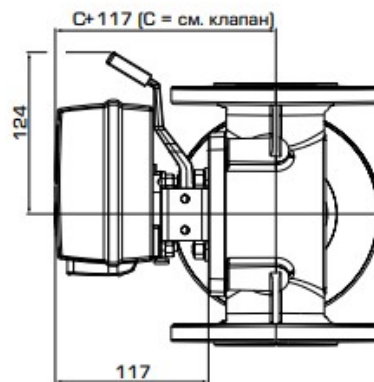


Рисунок 2.11 – Схема монтажу CRA120 на клапони.

2.7 Висновки до розділу 2

- 1) Розроблено функціональну схему САК температурою трубчатої печі.
- 2) Відповідно з функціональною схемою обрано технічні засоби для реалізації.

3 РОЗРАХУНОК І МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Розрахунок параметрів динамічних моделей каналом регулюючої дії та перевірка її адекватності

Для розрахування системи автоматичного контролю температури в трубчастій печі необхідно для початку описати математично описати регульований об'єкт. Спочатку знайдемо рівняння, які дозволять нам розрахувати зміни регульованих гілок. (Вихідні величини об'єкта), під час дії різних вхідних величин. Такі рівняння можуть вигляд перехідного процесу функції, диференціальне рівняння чи функція передачі. Математична модель об'єкта управління, це і є система перерахованих рівнянь. За допомогою математичної моделі, представленої у вигляді функції передачі, дає нам можливість вказати з яких ланок складається об'єкт управління, та позначити його структуру.

Знайти математичну модель об'єкта можна двома методами

- Аналітичним.
- Експериментальним.

При знаходженні моделі аналітичним способом аналізується об'єкт на основах законів збереження маси та енергії. Також враховують конструктивні особливості досліджуваного об'єкта і фізико-хімічні процеси, що проходять у ньому.

А при використанні експериментального способу об'єкт, що регулюється, розглядають без детального знання процесів, конструктивних особливостей, властивостей об'єкта. Необхідну інформацію про об'єкт отримують спостерігаючи за процесом змін вхідних велетень, і докладно

вивчають зміни кожної вхідної величини. При використанні експериментального методу треба чітко розуміти, які саме величини досліджувалися в ході експериментів і які з них є вхідними та вихідними.

Найпоширеніший спосіб знаходження вхідних велетень відображають одноразовою стрибкоподібною зміною, при цьому в момент у момент обурення об'єкт залишається у стані балансу. Усі його вхідні величини залишаються сталими, це називають метод кривого розгону. Менш поширений метод, це знаходження імпульсної перехідної характеристики його здійснюють у вигляді короткочасних імпульсів. Також використовують метод частотних характеристик, у цьому випадку коливання відображають у вигляді синусоїдних або періодичних коливань. І ще можливе використання статистичних методів, у цих випадках спостерігають за випадковими змінами вхідних величин протягом певного часу.

Задачею знаходження математичної моделі об'єкта за його експериментальною (згладженою) перехідною функцією, як правило, розв'язуються в три етапи:

- 1 Спираючись на характери експеремантальних кривих і зважаючи на взаємність між функцією передач і перехідної функції, вибирають можливі структури і можливі до них функції передач у загальних виглядах..

2. Вибраним методом розраховують параметричні значення моделі та набувають конкретні функції передач.

3. Розраховують значення перехідних функцій моделі. Перевіряють апроксимацію, зіставляючи теоретичну та експерементальну криву.

Об'єктом регулювання нашої моделі є засувка. Вхідне значення об'єкта, що контролюється, це зміна положень засувки, які безпосередньо розташовані на трубі. Вихідне значення – розрідження.

В даному розділі проводимо дослідження САР розрідження в трубчатій печі після зміни положення засувки.

Об'єктом регулювання є засувка. Вихідною величиною даного об'єкту регулювання є розрідження в трубчатій печі, вхідною – зміна положення засувки, що знаходиться на трубопроводі.

Функція передачі каналом збурення:

$$W_{OP3}(p) = \frac{14}{(1.193p + 1)^2}, \quad (3.1)$$

Вихідні данні для побудови моделі каналу регулюючої дії, експериментальна крива розгону розрідження в трубчастій печі, отримані стрибкоподібною зміною положення засувки на 14%.

Вихідні дані занесені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні данні моделі.

t,с	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
P,Па	-50	-49.9	-48.7	-48.1	-47.1	-46.2	-45.4	-44.6	-42.4
t,с	5.5	7	8.5	10	11.5	13	14.5	16	17,5
P,Па	-42.4	-40.3	-38.8	-37.8	-37	-36.3	-36	-35.5	-34,8

Якість регулювання в замкнутих систем автоматичного регулювання характеризують наступними показниками перехідних процесів:

- Допустимі динамічні похибки регулювання $U_{дин}$ - є максимальним відхиленням регульованих величини режиму переходу від заданих показників. Як правило помилка дорівнює першому амплітуду коливань регульованої величини процесу переходу ($U_{дин} = A_1$).

- Допустимий час регулювання τ_p - це час, коли, починаючи від моменту обурення в системі автоматичного регулювання, регульована величина досягне нової рівноваги з певною точністю, а потім не виходить із зони регулювання. Час контролю характеризує час регулювання САР.

- Допустиме перерегулювання регульованої величини - виражається у відсотках у відношенні другого A_2 до першого A_1 амплітуд, які спрямовані у протилежний бік:

$$\varphi = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\% \quad , \quad (3.2)$$

- Допустимий коефіцієнт зникання ψ :

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} \quad , \quad (3.3)$$

- Можливий час першого узгодження перехідного процесу $t_{\text{пс}}$ - час, протягом якого керуюча величина вперше досягає своєї стійкої величини, також визначає швидкість проведення процесу на початковому етапі; Достатній час для досягнення початкового максимуму - t_{max} .

Вимоги до якості процесу регулювання:

1. Допустиме максимальне динамічне відхилення $A_1=5\text{Па}$;
2. Допустима похибка регулювання $\Delta = 0.3\text{Па}$;
3. Допустимий час регулювання $t_p=10\text{с}$

3.2 Побудова математичної моделі ОР

Щоб розраховувати САР цього контуру, вибираємо математичну модель об'єкту. Математичні моделі параметрів регулювання для розрахувань оптимального параметру налаштувань регулятора знайдемо у вигляді функції передачі. Алгоритм знаходження функції передачі ОР:

- 1) Будуємо криві розгону об'єктів регулювання, які отримані

стрибкоподібними змінами регулюючої дії на $y = 14 \%$;

2) Щоб зручно було розраховувати, експериментальну криву розгону об'єктів регулювання $y^e(t)$ унормується розподілом їх значень до максимальної зміни вихідного значення.

$$h^e(t) = \frac{y^e(t) - y_n}{\Delta y}, \quad (3.4)$$

де : y_n - початкове (номінальне) значення регульованої величини;

Δy - максимальну зміну вихідної величини

$$\Delta y = y^e(\infty) - y_n, \quad (3.5)$$

$y^e(\infty)$ - значення вихідної величини після завершення перехідного процесу.

3) З нормованої експериментальної перехідної функції знаходимо значення часу t_{05} і t_{09} , що відповідають значенням перехідної функції $h^e(t_{05}) = 0,5$ і $h^e(t_{09}) = 0,9$.

Розраховуємо відношення t_{05}/t_{09} і перевіряємо виконання умови

$$0,43 \leq t_{05}/t_{09} \leq 0,68.$$

Якщо ця умова виконується, то знаходять найближче до розрахованого відношення t_{05}/t_{09} табличне значення і відповідне йому значення p , а також припускаємо, що функцією передачі для даного ОР є вираз:

$$W(p) = \frac{1}{(Tp + 1)^n}, \quad (3.6)$$

де T – стала часу; n – кількість аперіодичних ланок.

Теоретично перехідна функція для моделі (1) описується рівнянням

$$h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{i!} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^i, \quad (3.7)$$

4) 0 Щоб отримати значення n для початку визначимо відношення t_{05}/T і t_{09}/T , та з цих даних знайдемо сталу часу T . В випадку якщо розраховані значення T не зійдуться, то розрахуємо середню з отриманих двох значень.

5) Після отримання параметру моделі n та T за рівнянням знайдемо розраховані значення перехідної функції $h(t)$ і порівняємо її з експериментальною.

Запишемо формулу розмірного коефіцієнта передачі об'єкта:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y^e(\infty) - y_n}{\Delta x} \cdot \frac{[\text{розмірність вихідної величини}]}{[\text{розмірність вхідної величини}]}, \quad (3.8)$$

де Δx – значення стрибкоподібної зміни вхідної величини, яка викликала зміну вихідної величини.

6) Перевірка адекватності динамічної моделі

Перевіряє адекватність динамічної моделі. Щоб точно перевірити апроксимацію, для початку необхідно визначити теоретично перехідну функцію $h(t_j)$ зрівняти з експериментальною $h^e(t_j)$, записати це можна як максимальне значення різниць ординат:

$$\Delta = \left| h(t) - h^e(t) \right|_{\max}, \quad (3.9)$$

або ж максимальну абсолютну похибку:

$$\Delta_a = \left| y(t) - y^e(t) \right|_{\max}, \quad (3.10)$$

де $y(t), y^e(t)$ - теоретичні та експериментальні криві розгону, які не мають перевищувати задані параметри точності регулювання.

Точність апроксимації для об'єктів із самовирівнюванням вважається задовільною, якщо зведена похибка

$$\delta = \Delta \times 100\%, \quad (3.11)$$

не перевищує 3%.

Усі розрахунки було проведено у середовищі MATLAB.

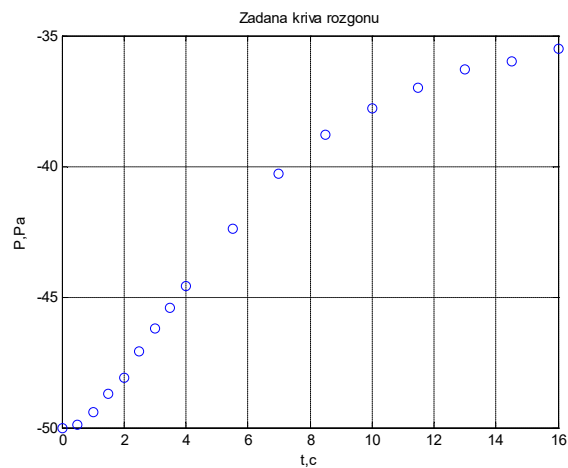


Рисунок 3.1 – Розрахована крива розрядження від зміни положення засувки на 14%.

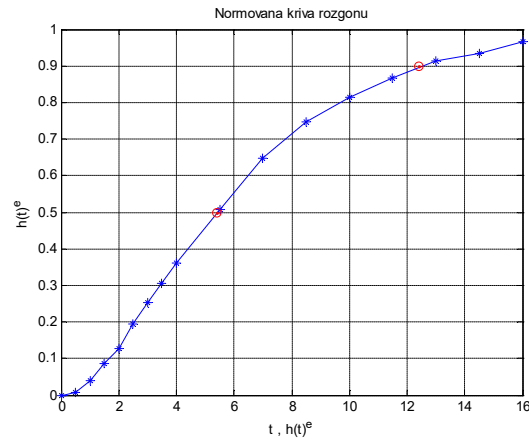


Рисунок 3.2 – Нормована експериментальна крива розгону ОР з нанесеними значеннями часу t_{05} і t_{09}

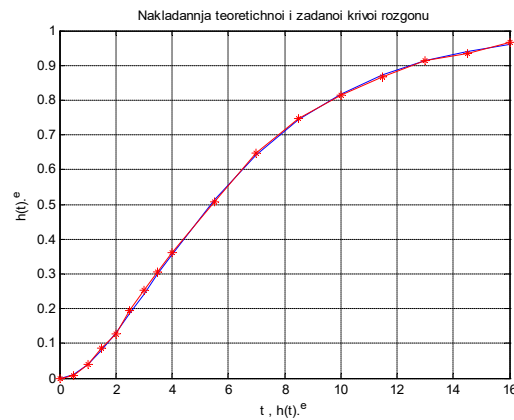


Рисунок 3.3 – Співвідношення між експериментальною та розрахованою кривими розгону

— - розрахована; * – експериментальна

Виходячи з отриманих результатів мат.моделей, робимо висновок, що функцію передачі можна записати:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^2}, \quad (3.12)$$

де:

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y^e(\infty) - y_n}{\Delta x} = 0.8824, \text{ Па/\%}$$

$$T = 3.201 \text{ с.}$$

Отже, функція зміни розрідження в димоході має вигляд:

$$W_{OP}(p) = \frac{0.8824}{(3.201p + 1)^2}$$

Перевірка адекватності динамічної моделі ОР. Точність апроксимації вважається задовільною, якщо зведена похибка не перевищує 3%.

$$\text{delta} = 1.2163\%$$

Оскільки зведена похибка $\delta < 3\%$ ($\delta = 1.2163\%$), то ця функція передачі задовільняється вимогам до точності систем.

3.3 Розрахунок параметрів налаштування автоматичних регуляторів

Вибір схем САК і вибір регулятора за законом регулювання.

Схема автоматичного регулювання показує, як пов'язані між собою об'єкт регулювання і автоматичний регулятор [10].

Вибираючи схему автоматичного регулювання заданого технологічного процесу, треба чітко уявити собі [10]:

- 1) яку фізичну величину доцільно вважати регульованою величиною [10]?
- 2) що буде регулюючою дією регулятора, тобто де буде знаходитися регулюючий орган і яку вхідну величину об'єкта він буде змінювати [10] ?
- 3) чи треба вводити в схему додаткові коректуючі сигнали для одержання потрібної якості регулювання і які саме [10] ?

4) чи залежить значення регульованої величини в розрахованій системі від роботи інших систем регулювання на цьому ж об'єкті? Якщо так, то які зв'язки між системами потрібні, щоб усунути або зменшити наслідки цього впливу [10] ?

5) чи необхідно для забезпечення заданих вимог якості регулювання застосовувати двоконтурні системи [10] ?

Відповіді на ці питання залежать від особливостей регульованого технологічного процесу, властивостей об'єкта регулювання та вимог щодо якості процесу регулювання [10] .

Вимоги щодо якості процесу регулювання визначаються умовами ведення технологічного процесу, деякі з показників якості регламентуються експлуатаційними інструкціями (наприклад, допустимі відхилення регульованої величини). Найчастіше застосовується такі показники якості [10] :

- 1) максимальне динамічне відхилення регульованої величини;
- 2) допустиме довготривале відхилення регульованої величини (статична, динамічна похибка);
- 3) тривалість процесу регулювання (час регулювання);
- 4) ступінь коливальності m .

Для забезпечення вимог якості процесу регулювання я для лінійної системи автоматичного регулювання вибираю ПІ-регулятор.

Пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор) є паралельним з'єднанням пропорційної та інтегральної ланок, функція передачі якого має вигляд [10].

$$W(p) = k_p + \frac{k_p}{T_{iz}} \cdot \frac{1}{p} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{iz}p} \right), \quad (3.13)$$

де k_p – коефіцієнт передачі регулятора; T_{iz} – час ізодрому.

Розрахунок параметрів настроювання ПІ-регулятора здійснюється в два

етапи:

1) в площині параметрів настроювання регулятора $\left(k_p, \frac{k_p}{T_{i3}}\right)$ знаходять границю області заданого запасу стійкості САР [10];

2) із знайденої границі області заданого запасу стійкості вибирають оптимальні значення параметрів настроювання регулятора. Під оптимальними розуміють такі значення параметрів настроювання, які при заданому запасі стійкості САР забезпечують мінімальне значення обраного критерію оптимальності. В практичних розрахунках звичайно критерієм оптимальності обирають інтегральну оцінку [10].

Значення параметрів настроювання ПІ-регулятора:

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{i3}} = -\frac{\omega(m^2 + 1) \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)}; \\ k_p = \frac{-\cos \varphi_{op}(m, \omega) - m \sin \varphi_{op}(m, \omega)}{A_{op}(m, \omega)}. \end{cases}, \quad (3.14)$$

Змінюючи частоту в діапазоні $\omega^* \leq \omega \leq \omega^{**}$ (ω^*, ω^{**} – частоти, що відповідають параметрам настроювання відповідно І- та П-регуляторів, за рівняннями системи розраховують значення параметрів настроювання ПІ-регулятора, що відповідають границі заданого запасу стійкості [10].

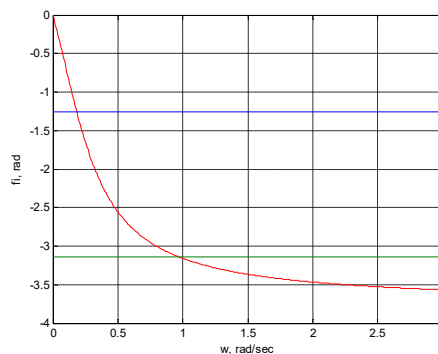


Рисунок 3.4 – Графік фазо-частотної характеристики

$$\omega^* = 0,2 \text{ рад/с}$$

$$\omega^{**} = 1 \text{ рад/с}$$

Змінюючи частоту в діапазоні $(\omega^*; \omega^{**})$ будуємо криву області границі запасу стійкості і з неї знаходимо оптимальні параметри настройки ПІ-регулятора [10].

Для заданого m в площині параметрів $k_p, k_p/T_{iz}$ будуємо границю області запасу стійкості, з якої визначаємо оптимальні значення параметрів настрювання $(k_p)_{\text{опт}}, (k_p/T_{iz})_{\text{опт}}$, отримані при другій мінімальній інтегральній оцінці. Вважається, що таким чином визначені параметри, наближено забезпечують мінімальне значення інтегральної квадратичної оцінки якості J_2 [10].

$$J_2 = \int_0^t [y(t) - y_{\text{зад}}(t)]^2 dt, \quad (3.15)$$

де $y(t)$ - крива розгону замкнутої САР; $y_{\text{зад}}$ - задане значення регульованої величини.

Підпрограму для знаходжень оптимальних параметрів регулятора при другій мінімальній інтегральній оцінці перехідного процесу було реалізовано в середовищі Simulink:

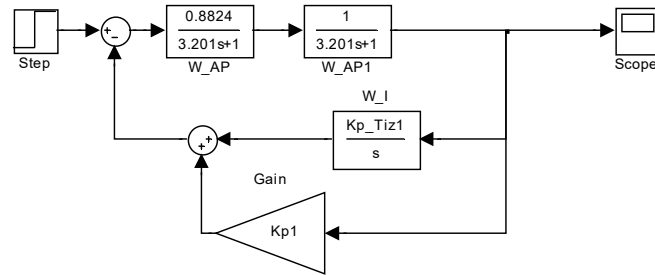


Рисунок 3.6 – Підпрограма в середовищі Simulink для знаходження оптимальних параметрів настроювання регулятора при другій мінімальній інтегральній оцінці перехідного процесу.

Для заданого m в площині параметрів k_p , $\frac{k_p}{T_{iz}}$ будує границю області запасу стійкості, з якої визначаю оптимальні значення параметрів

настроювання $(k_p)_{\text{опт}}$, $(\frac{k_p}{T_{iz}})_{\text{опт}}$ [10].

Отже, функція передачі ПІ-регулятора:

$$W_{\text{PI}}(p) = 7.6128 + \frac{0.9394}{p}$$

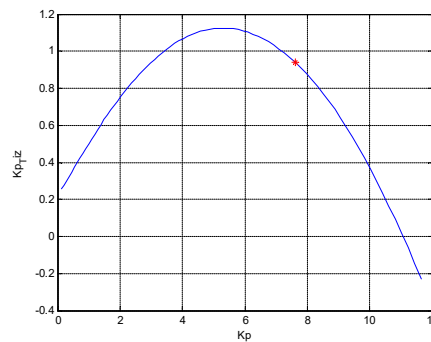


Рисунок 3.7 – Границі області заданої стійкості системи автоматичного регулювання розрідження газу з ПІ-регулятором.

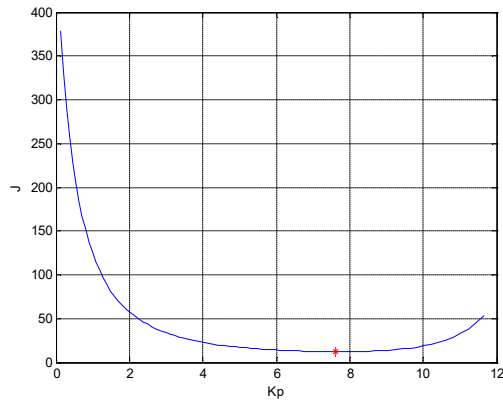


Рисунок 3.8 – Графік залежностей між другою інтегральною оцінкою якості J_2 і параметром налаштування АР K_p .

3.4 Дослідження перехідних процесів в САР при оптимальних параметрах налаштування ПІ-регулятора

Моделювання системи автоматичного регулювання в даному розділі буде проводитись за допомогою програмного пакету MATLAB.

Функція передачі об'єкту регулювання:

$$W_{OP}(p) = \frac{0.8824}{(3.201p + 1)^2}$$

Функція передачі за збуренням:

$$W_{OP3}(p) = \frac{14}{(1.193p + 1)^2}$$

Функція передачі ПІ-регулятора:

$$W_{PI}(p) = 7.6128 + \frac{0.9394}{p}$$

Змоделюємо структурну схему процесу регулювання в Simulink при знайдених оптимальних параметрах:

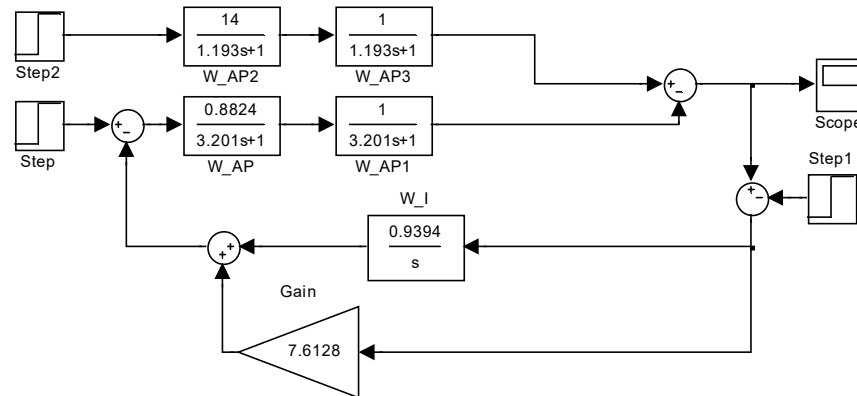


Рисунок 3.9 – Структурна схема моделювання системи автоматичного контролю засувками в трубчастій печі.

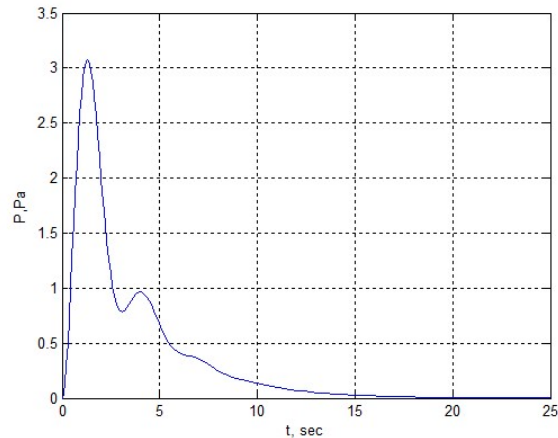


Рисунок 3.10 – Графік перехідного процесу системи автоматичного контролю із оптимальними параметрами ПІ-регулятора при зміні регулюючої дії на 7%.

Максимальне динамічне відхилення $A_1=3.06\text{Па}$ задовольняється ($A_{1\text{задане}}=5\text{Па}$)

Час регулювання $t_p=7.5\text{ с}$ з заздалегідь встановленою похибкою $\Delta=\pm 0.3\text{Па}$ задовольняється ($t_{p\text{задане}}=10\text{с}$).

Отже, вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

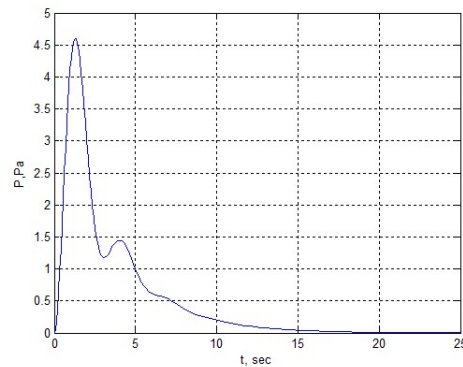


Рисунок 3.11 – Графік перехідного процесу системи автоматичного контролю із оптимальними параметрами ПІ-регулятора при максимальній зміні регулюючої дії на 14%.

Максимальне динамічне відхилення $A_1 = 4.6 \text{ Па}$ задовольняється ($A_{1\text{задане}} = 5 \text{ Па}$)

Час регулювання $t_p = 8.6 \text{ с}$ з заздалегідь встановленою похибкою $\Delta = \pm 0.3 \text{ Па}$ задовольняється ($t_{p\text{задане}} = 10 \text{ с}$).

Отже, вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

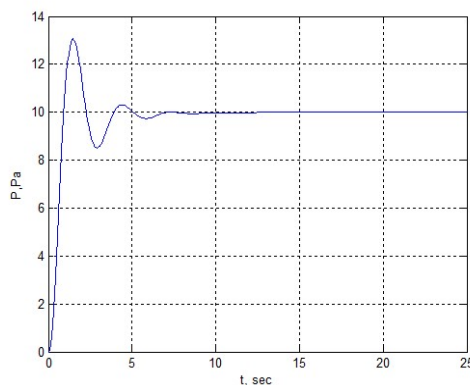


Рисунок 3.12 – Графік перехідного процесу САР при оптимальних параметрах ПІ-регулятора при зміні завдання регулятора на 10 Па.

Максимальне динамічне відхилення $A_1 = 3.06 \text{ Па}$ задовольняється ($A_{1\text{задане}} = 5 \text{ Па}$).

Час регулювання $t_p=4.5\text{с}$ з заздалегідь встановленою точністю $\Delta=\pm 3\text{Па}$ задовольняється ($t_{\text{рзадане}}=10\text{с}$).

Перерегулювання регульованої величини

$$\varphi = 1.5 / 3.06 * 100 = 49.02 \%$$

Ступінь згасання

$$\psi = (3.06 - 0.32) / 3.06 = 0.89.$$

Отже, вимоги до якості процесу регулювання виконуються.

Висновки до розділу 3

На основах експериментальної кривої розгону було знайдено функцію передачі каналу регулюючої дії із максимальною зведеною похибкою 1.2163%, яка має вигляд:

$$W_{op}(p) = \frac{0.8824}{(3.201p + 1)^2}.$$

Одержано математичні моделі, було розраховано одноконтурну система автоматичного регулювання.

Для забезпечення вимог якості процесу регулювання для лінійної системи автоматичного регулювання було вибрано ПІ-регулятор. Було розраховано оптимальні параметри настроювання ПІ-регулятора:

$$k_{om} = 7.6128 \frac{\text{Па}}{\%};$$

$$Kp/Tiz = 0.9394 \text{ с.}$$

Експериментально досліджуючи систему автоматичного контролю об'єкта, було зроблено висновок, що вибір ПІ-регулятора забезпечить якісний контроль регулювання за такими критеріями:

- максимальне динамічне відхилення $A_1=3,07\text{Па}$ задовольняється ($A_{1\text{задане}}=5\text{Па}$).
- час регулювання $t_p=7.5\text{с}$ з заздалегідь встановленою точністю $\Delta=\pm 0,3\text{Па}$ задовольняється ($t_{p\text{задане}}=10\text{с}$).

ВИСНОВКИ

Технічні властивості трубчастої печі є унікальними на кожному виробництві. Це досягається як і особливостями конструкції печі та її камер, так і хімічними особливостями палива, що подається. Також важливу роль відіграє температура повітря, що подається в камери. Оскільки процес безперервний, всі ці фактори постійно впливають на температуру всередині камер. Зміна температури негативно позначається на кінцевому продукті змінюючи його фізичні та хімічні властивості.

Для сталості якості продукту необхідно, щоб температура в печі завжди була постійною. Це може бути зроблено за допомогою постійного контролю подачі палива/повітря. Але для того, щоб це зробити для початку, необхідно знати температуру палива/повітря, і провести розрахунок теплового балансу печі. Для регулювання температури в печі система повинна бути простою та універсальною для всіх печей, щоб у разі аварійних ситуацій персонал міг контролювати процес вручну.

Аналізуючи існуючу систему вимірювання температури, а проводиться за рахунок занурення пірометра в камеру печі, можна зробити такі висновки:

- 1) Немає даних про температуру джерел палива/повітря.
- 2) Немає даних температури продукту на стадії ретифікації.
- 3) Людський фактор.

Проаналізувавши ці висновки можна визначити наступний фактор. Неточне регулювання подачі ресурсів. Оскільки температура вимірюється тільки всередині камери, то неможливо точно визначити температуру палива/газу, що подаються в піч, через це процес регулювання температури може займати тривалий проміжок часу, що вкрай негативно позначається на якості кінцевого продукту.

Завдяки вибраному обладнанню ми збільшимо точність вимірювання, сталість температури камер та продукту, точність регулювання та швидкість передачі та обробки інформації. Економічні показники розрахувати неможливо,

оскільки інформацію про кількість якісного та неякісного продукту неможливо отримати.

В цій роботі було математично розрахована і спроектована САР у середовищі MATLAB. Було знайдено функцію передачі каналу регулювання, для якості процесу регулювання було обрано ПІ-регулятор, розраховано оптимальні параметри налаштування ПІ-регулятора, а також знайдено максимальне динамічне відхилення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ТЕХНОЛОГІЯ Й УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ СИРОГО БЕНЗОЛУ. *DocSity*: веб-сайт. URL: <https://www.docsity.com/ru/tehnologiya-i-ustatkuvannya-dlya-pererobki-benzolu/1721088/> (дата звернення: 05.05.2022).
2. Каменноугольная смола (каменноугольный деготь). *ПластЭксперт*: веб-сайт. URL: https://e-plastic.ru/slovar/k/kamennougolinaua_cmola/ (дата звернення: 05.05.2022).
3. Зиганшин Г.К. Технологічний розрахунок трубчастої печі: курсовий проект. Уфа, 2001.
4. Про затвердження Правил безпеки в коксохімічному виробництві: наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 10.06.2008 №135.
5. ABB. SensyCal FCU200, SensyCal FCU400 Universal Measuring Computer. *Multifunctional Precise Compact*. 2015. URL: https://library.e.abb.com/public/1a8bdf2df73840e386f86e0b39ab74b2/10_18_522_EN_I.pdf
6. Датчик Pt 100. *Grundfos*: веб-сайт. URL: <https://www.grundfos.com/ru/learn/research-and-insights/pt-100-sensor> (дата звернення: 30.05.2022).
7. ДАТЧИК АБСОЛЮТНОГО ТИСКУ МІДА-ДА. *Sovlad.com.ua*: веб-сайт. URL: <https://sovlad.com.ua/ua/datchik-absolyutnogo-tisku-mida-da.html> (дата звернення: 30.05.2022).
8. FLUXUS G721. *NKM Flexim*: веб-сайт. URL: https://nkm-flexim.com.ua/product/fluxus_g721 (дата звернення: 30.05.2022).
9. Контроллер CRA120. *ESBE*: веб-сайт. URL: <https://esbe.eu/ru/продукция/контроллеры/cra120> (дата звернення: 30.05.2022).
10. Розрахунок параметрів настроювання автоматичних регуляторів. *Studwood*: веб-сайт. URL: https://studwood.1401/tovarovedenie/rozrazhunok-net/166_parametriv_nastroyuvannya_avtomatichnih_regulyatoriv.

ДОДАТОК А

Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві

Відкрите полум'я і топкові гази часто використовують для нагрівання ГР, наприклад, в процесах перегонки нафти, крекінгу, піролізу, гідроочищення вуглеводнів, переробки рослинних олій та ін. Нагрівання здійснюють в спеціальних печах, в яких спалюють рідке чи газоподібне паливо. Теплообмінна поверхня в печах виконується у вигляді пучка труб чи змієвика. Такі печі називаються трубчастими.

А.1 Призначення та будова трубчатих печей

Трубчаті печі призначені для нагрівання ЛЗР-ГР до високих температур (350-500°C) відкритим полум'ям та топковими газами.

За технологічним призначенням трубчаті печі поділяються на:

- нагрівні - забезпечують нагрів продукту до заданої температури;

(Такі печі, як правило, працюють при температурах не вище 500°C і мають відносно м'який режим роботи).

- реакційно-нагрівні - забезпечують нагрівання та умови проходження хімічних реакцій.

(Вони працюють у більш жорстких умовах - при температурах 600-700°C та малій швидкості прокачування продукту, що необхідно для проходження реакцій).

Печі бувають шатрові та вертикальні.

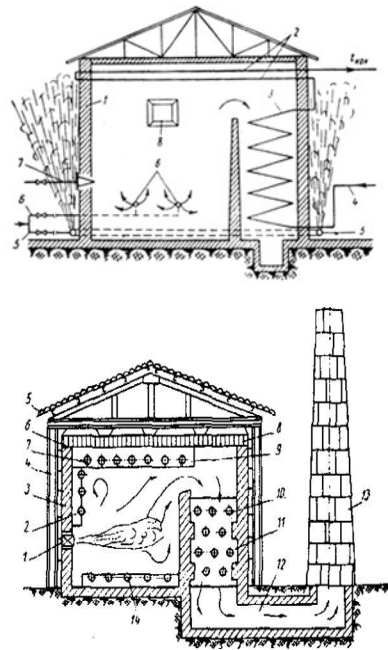


Рисунок А.1 – Схеми вогневих трубчастих печей: 1 – корпус печі; 2 – радіантні труби; 3 – конвекційні труби; 4 – подача сировини в змійовик; 5 – система подачі водяної пари для створення зпавіси навколо печі; 6 – система подачі водяної пари з метою пожежогасіння; 7 – пальник печі; 8 – запобіжні шарнірно-відкидні дверцята.

Найбільше розповсюдження мають шатрові печі, які складаються з таких основних елементів:

- каркас - для закріплення обладнання печі;

(Він виготовляється із жаростійкої сталі і на ньому закріплюються стінові панелі, кронштейни для труб тощо).

- стіни та склепіння - для утворення теплоізолюючої оболонки печі;

(Виготовляються тришарові- вогнетривка цегла, теплоізоляція, червона цегла).

- шатер - для захисту від атмосферних опадів;

(Має свій каркас, теплоізоляцію та покриття із армоцементних листів (шифера)).

- трубчатий змійовик - для прокачування продукту, що нагрівається;

(Він складається з окремих жаростійких труб ($d=200-500\text{мм}$), які

перетинають весь простір печі. Загальна довжина змійовика може сягати до 10 км в реакційно-нагрівальних печах).

- двійники та ретурбенти - для поєднання труб у змійовика;

(Двійники закріплюються на трубах зварюванням назовні печі та забезпечуються теплоізоляцією. Ретурбенти встановлюються при наявності загрози забруднення труб).

- перевальна стінка - для поділення печі на дві камери радіаційну та конвекційну.

(В радіаційній камері нагрів відбувається за рахунок випромінювання факелу. В конвекційній камері нагрівання йде в більш м'якому режимі за рахунок конвективного переносу тепла топочними газами).

- форсунки та пальники - для утворення факелу полум'я.

(На трубчатих печах використовують комбіновані газо-мазутні форсунки. Такі форсунки забезпечують факел полум'я з температурою до 1300-1600°C в залежності від калорійності палива).

- газохід (боров) та димова труба - для відводу топочних газів.

При роботі продукт спочатку подається в труби конвекційної камери, а потім вже в радіаційну. Тобто використовується протиточна система подачі теплоносія. Це забезпечує більш м'який нагрів і зменшує температурні напруження на піч та труби.

Вертикальні печі мають досить багато аналогічних конструкцій. Відрізняються вони тим, що форсунки розташовуються у дні печі і полум'я б'є вертикально вгору, а частина радіантних труб теж розташовується вертикально.

А.2 Пожежна небезпека трубчатих печей

Пожежна небезпека трубчатих печей характеризується такими факторами:

1. Наявність великої кількості ЛЗР-ГР у змійовику (іноді до 15 тон) та

горючого газу або мазуту в якості палива. (Дільниці або приміщення з трубчатими печами відносяться до категорії «Г»).

2.1. При нормальних умовах роботи в змійовику ВНК не утворюється через відсутність вільного простору. Можливість утворення ВНК в просторі печі виникає при неправильному розпалюванні, відриві полум'я та при аварійних зупинках:

- Неправильне розпалювання може виникнути з вини операторів (без попередньої продувки печі з витісненням газів або парів, що нагромадились в просторі печі), або ж при порушенні послідовності подачі газу та його підпалювання.
- Відриви полум'я виникають через наявність повітряних корків в паливних газопроводах або водяних корків в мазутопроводах.
- При аварійних зупинках всередину печі можуть проникати паро чи газоповітряні хмари, що утворилися на сусідніх установках через аварії.

2.2. Можливість виходу ЛЗР-ГР назовні при аваріях з виникненням так званих пожеж печі або ретурбентів.

При цьому ВНК не встигають утворитися через миттєве спалахування пари ЛЗР-ГР від полум'я або нагрітих поверхонь.

Причинами аварій можуть бути:

- прогари труб змійовика (Продукт виливається в простір печі і спалахує. Виникає пожежа печі, яка може привести до її руйнування через надмірні теплові навантаження).
- ушкодження труб через підвищення тиску (Тиск в змійовику може підвищуватись через утворення пробок коксу, що порушує матеріальний баланс. При цьому продукт починає виходити і спалахує від високонагрітих поверхонь).
- руйнування труб від втоми металу;

Таким чином ЛЗР-ГР може виходити назовні при аваріях печі, але без

утворення ВНК через миттєве спалахування, тому біля печі відсутня будь яка зона класу по ПУЕ.

3. Джерела запалювання.

- відкрите полум'я пальників;
- високонагріті поверхні.

Температура полум'я сягає 1300-1600°C, нагрітих поверхонь печі - до 700°C, а температура спалахування органічних рідин знаходиться в межах 250-500°C, тому при контакті відбувається миттєве їх спалахування.

4. Характерні шляхи розповсюдження пожежі.

Пожежі на таких установках можуть розповсюджуватись:

- по розлитих ЛЗР-ГР;

(Такий шлях найбільш небезпечний, поскільки при ушкодженні труб продукт починає фонтанувати під тиском).

- по промканалізації;
- випромінюванням;
- вибухом в просторі печі.

Найбільш небезпечним є останій шлях, про що свідчать приклади аварій на установках з трубчатими печами.

21 вересня 1994 року сталася аврія на установці каталітичного крекінгу АТ «ЛіНОС» м.Лісічанск.

В результаті порушення технологічного процесу через помилку оператора виник перегрів трубчатої печі, що привело до прогару змійовика із розтіканням і горінням сировини - важкого газойлю, на площі 400 кв.м. Піч була аварійно зупинена, але неправильно.

Через 20 хвилин після аварії стався вибух у внутрішньому просторі печи з її руйнуванням по торцях.

Під час вибуху загинули механік установки, ст.інспектор ВПЧ-14 та старший пожежний цієї ж частини. Крім того були травмовані та отримали важки опіки 8 осіб з персоналу установки та 8 співробітників пожежної охорони.

А.3 Протипожежний захист трубчатих печей

Всі основні протипожежні вимоги до трубчатих печей можна поділити на 4 групи.

1. Вимоги до розташування

Трубчаті печі можуть розташовуватись в приміщеннях або на відкритих майданчиках.

1.1 При розташуванні в приміщеннях.

- печі повинні бути в ізольованих приміщеннях, відокремлених від інших протипожежними перегородками з межею вогнестійкості 0,75 год.;
- вихід з приміщення повинен бути безпосередньо назовні, але не в сторону зовнішніх ВН установок;
- двері та вікна приміщення печі повинні бути не ближче 10 м від дверей та вікон приміщень категорії «А» та «Б»;
- в приміщенні не повинно бути сторонніх апаратів;
- редуктор палива печі повинен бути назовні.

1.2 На майданчиках.

- повинні знаходитись на протипожежній відстані від сусідніх апаратів, установок, будівель та споруд

2. Вимоги до обладнання.

- на печі повинні бути запобіжні вибухові клапани - відкидні або мембранно-відкидні;

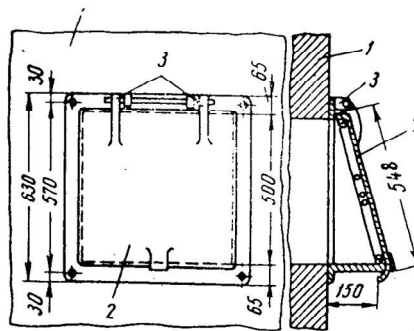


Рисунок А.2 – Схема шарнірно-відкидних дверей.

- на паливопроводі, не ближче 5 м від печі, повинна бути аварійна засувка;
- повинна бути система парогасіння простору печі;
- повинна бути система аварійного зливу із змійовика, з підключенням до його початку та кінця;
- ретурбенти повинні бути у шафах з кришками, системами парогасіння та зливу через гідрозатвори;
- при відстані до апаратів з ЛЗР-ГР та ГГ менше 100 м навколо печі повинна бути парова завіса;
- піч повинна мати автоматичні регулятори тиску, температури, витрати та систему зупинки при відриві полум'я.

А.4 Вимоги до електрообладнання

Біля печі може бути два види електрообладнання:

- робоче звичайного виконання з загальним вимикачем;
- аварійне з виконанням по зонах класу В-Іа або В-Іг.

Робочого може не бути, а аварійне повинно бути обов'язково.

А.5 Вимоги до протипожежного режиму

- повинні бути інструкції про заходи пожежної безпеки та по аварійній зупинці печі;

Інструкції по аварійній зупинці розробляються на випадки пожежі печі, пожежі ретурбентів та утворення паро або газоповітряних хмар на сусідніх установках.

- повинні бути графіки ТО та ППР печей;
- при розпалюванні піч повинна продуватися парою тривалий час - до

появи пари з труби і ще 15 хвилин;

- повинен бути постійний контроль справності систем аварійного зливу, парогасіння та парових завіс;

- повинні бути первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники не менше 2-х; пісок 0,5 куб.м та лопата - 1 комплект; теплоізоляційне полотно 2 х 2 м - 2 шт.

Висновок: Таким чином, впровадження заходів пожежної безпеки трубчатих печей дає можливість значно зменшити їх пожежну небезпеку та загрозу для сусідніх з ними технологічних установок.

ДОДАТОК Б

Технічні характеристики універсального комп'ютера SensyCal.

Inputs	Maximal 12 x pyrometer
Outputs	4 binary switching outputs (prealarm, alarm, and device error)/1 analog output (optional),
Optical resolution of sensors	15:1
Length of sensor-measurement computer connecting cable	10 m (standard)
Response time of entire system	< 1 s
Reproducibility of temperature measurement	$\pm 0.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ or $\pm 0.75\text{ \%}$ of measured value (the larger value in each case applies)
Degree of protection	IP 40
Power supply	24 V DC $\pm 5\text{ \%}$
Maximum power consumption	10 VA
Dimensions (width x height x depth)	144 mm x 72 mm x 183 mm (5.67 inch x 2.83 inch x 7.2 inch)
Housing material	Polycarbonate
Weight	Approx. 0.7 kg (1.54 lb)
Panel cutout (width x height)	139 mm x 69 mm (5.47 inch x 2.72 inch)
Operating mode can be parameterized, optical head (ZVEI) standard in acc. with IEC EN 61107 (300 ... 400 (9600) baud).	— 2-wire M-Bus interface (300 ... 38,400 baud) — RS232 / RS485 (300 ... 38,400 baud)
External supply	In acc. with VDE 2188, Category 2
Maximum load	24 VDC ($\pm 25\text{ \%}$), < 100 mA
Maximum insulation voltage	500 Vss (peak-to-peak)
Internal resistance R_i in conductive state	< 20 Ω

ДОДАТОК В

Технічні характеристики термометра Pt100

R0, Ом	100 (для Pt100), 1000 (для Pt1000)
$\alpha=R100/ R0, ^\circ\text{C}^{-1}$	0,00385
Івим., макс, мА	1 (для Pt100), 0,3 (для Pt1000)
Клас допуску	АА, А, В
Межа допустимого відхилення від НСХ, $^\circ\text{C}$	$\pm (0,10 + 0,0016t)$ (для АА) $\pm (0,15 + 0,0020t)$ (для А) $\pm (0,30 + 0,0050t)$ (для В)
Макс робочий діапазон, $^\circ\text{C}$	-50...200 (для АА) -70...300 (для А) -196...750 (для В)

ДОДАТОК Г

Технічні характеристики датчику тиска МІДА-13П.

Область застосування	Загальнопромислові системи контролю та регулювання, атомна електроенергетика
Робоче середовище	Рідини та гази, неагресивні до титанових сплавів та нержавіючих сталей
Діапазон вимірюваних тисків	МПа 0-0,04/0-0,06/0-0,1/0-0,16/0-0,25/0-0,4/0-0,6/0-1 / 0-1,6/0-2,5/0-4/0-6/0-10
Основна похибка	±%, (залежно від коду лінії вихідного сигналу та верхньої межі вимірювання) 01, 04, 05/1, 05/2 - 40 кПа та вище 0,15/0,2/0,25/0,503 - 40 кПа та вище 0,25/0,502, 03, 05/4 - 40 кПа та вище 0,5
Діапазон температур навколишнього середовища	°С -40...+200 / -60...+220 (для незахищених датчиків з типом підключення УММ та УММ-15 та діапазоном тиску від 6 МПа)
Діапазон температур вимірюваного середовища	°С -40...+400 / -40 ... + 420 (для незахищених датчиків, при температурі навколишнього середовища не більше 60 °С)
Напруга живлення	12...36 (4-20 мА залежно від навантаження)
Пиловодозахищеність	IP65

ДОДАТОК Д

Технічні характеристики витратоміра FLUXUS G721

Невизначеність вимірювання вимірювальної системи	$\pm 0,3\%$ від показання $\pm 0,005$ м/с
Діапазон швидкості потоку	0,01...35 м/с, залежно від діаметра труби
Джерело живлення	100-230 В змінного струму, 24 постійного струму, 12 постійного струму
Доступний датчик	Поперечна хвиля / хвиля Лемба для вибухонебезпечних зон АTEX / IECEx зона 1 / зона 2 FM клас I - розділ 2
Діапазон розміру труб	7мм ... 1600мм
Діапазон температур	-40 ° C ... + 240 ° C / WI: -200 ° C ... + 600 ° C
Виходи	4-20 мА активний/пасивний 4-20 мА HART активний/пасивний імпульсний / частотний / двійковий
Входи	4-20 мА активний/пасивний двійковий вхід

ДОДАТОК Е

Технічні характеристики привід-контролера CRA120

Ступінь захисту корпусу	Блок привода: IP54; Блок управління: IP54
Класс защиты	II
Електроживленн	$24 \pm 10\%$ В перем. тока, 50/60 Гц; $230 \pm 10\%$ В перем. тока, 50/60 Гц
Споживання енергії	24В перем. тока: 3 ВА; 230В перем. тока: 10 ВА
Обертаючий момент	15 Нм
Маса	0,9 кг
Діапазон температури	от +5 до +95 °С
Время закрытия при макс. скорости	120 с