

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2020 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітній ступінь)

на тему «Розробка та дослідження електронної системи вимірювання
температури коксової батареї»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕЛТМ-19

(шифр групи)

спеціальності 171 Електроніка

(шифр і назва спеціальності)

Кирбаба А.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

О.В. Вовна

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2020 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітній ступінь)

Тема: «Розробка та дослідження електронної системи вимірювання
температури коксової батареї»

Виконавець, студент

гр. ЕЛТм-19

Кирбаба А.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Керівник

д.т.н., проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Консультанти:

к.т.н., доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.Б.)

д.т.н., проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.Б.)

ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Нормоконтроль

д.т.н., проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Покровськ – 2020 р.

Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри електронної техніки
Вовна О.В.
«___» _____ 2020 року

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

Кирбаба Андрій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Розробка та дослідження електронної системи вимірювання температури коксової батареї»

керівник проекту (роботи) Вовна Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.09.2020 року № 693

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) інформаційний аналіз і узагальнення технічних характеристик об'єкту контролю; план розробки та випробувань апаратних і програмних компонент електронної системи; обґрунтування та розробка структури та алгоритмів роботи системи; програмне забезпечення розширення функціональних можливостей системи.

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	д.т.н., проф., зав. каф. ЕТ Вовна О.В.		
3	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
2, 4	к.т.н., доц., доц. каф. ЕТ Лактіонов І.С.		
А	ст. викл каф. ОП Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Критичний аналіз технічних і функціональних характеристик коксових батарей	21.09.2020	
2	Структурно-алгоритмічна організацію оптико-електронної системи вимірювання температури коксової батареї	27.10.2020	
3	Обґрунтування вимог до елементної бази електронної системи вимірювання температури коксової батареї	28.11.2020	
4	Обґрунтування алгоритмічного забезпечення щодо розширення функціональних можливостей класичних електронних вимірювачів температури коксової батареї	09.12.2020	
5	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві	16.12.2020	

Студент

(підпис)

Кирбаба А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Вовна О.В.

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Кирбаба, А.В. Розробка та дослідження електронної системи вимірювання температури коксової батареї / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття СО «Магістр» за спеціальністю 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2020 р.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та 1 додатка. Загальний обсяг роботи містить 79 сторінок друкованого машинописного тексту, зокрема 65 сторінок основного тексту, 21 рисунок, 1 таблицю та перелік використаної літератури із 23 найменувань.

Динамічне зростання темпів автоматизації та цифровізації коксових виробництв промислових підприємств є одним із найбільш раціональних і об'єктивних способів зростання продуктивності функціонування підприємства, мінімізації витрат сировинних ресурсів, економічного планування робіт, збільшення продуктивності при роботі підприємств коксохімічної промисловості, а також підвищення якості вихідної продукції (коксу) та інших похідних продуктів коксохімічного виробництва.

Основна мета цієї кваліфікаційної роботи магістра полягає в розробці та дослідженні електронної системи безперервного неруйнівного вимірювального контролю температури коксової батареї, що дозволить оперативно в режимі реального часу корегувати характеристики й параметри технологічного процесу виготовлення коксу, а також обґрунтувати шляхи із підвищення ефективності коксохімічного виробництва.

Об'єкт дослідження – електронна система вимірювання температури коксової батареї в умовах ПРАТ «АКХЗ».

Предмет дослідження – способи, засоби і алгоритми підвищення точності електронної системи вимірювання температури коксової батареї в умовах ПРАТ «АКХЗ».

Методи досліджень: способи аналізу і логічного узагальнення,

математичного й комп'ютерного моделювання технічних систем, теорія точності інформаційно-вимірювальних систем, аналіз і синтез структурних схем електронних систем.

У випускній кваліфікаційній роботі магістра досягнута основна мета дослідження шляхом обґрунтування структурно-алгоритмічної організації електронної системи та її імітаційних випробуваннях.

Ключові слова: кокс, електронна система, вимірювання, пірометр, оптичний сенсор.

ABSTRACT

Kyrbaba, A.V. Development and research of the electronic measuring system of the coke oven battery temperature / Graduate qualification work for the master's degree on specialty 171 Electronics. – SHEI 'DonNTU', Pokrovsk, 2020

Explanatory note: 79 p., 21 figs., 1 tables, 23 references.

Dynamic growth of automation and digitalization on coke production industrial enterprises is one of the most rational and objective ways for productivity increasing of the enterprise and minimize of the raw materials cost, economic planning, increase productivity in the coke industry, and also improve the raw materials (coke) quality and other coke production derivatives.

The main master's thesis goal is developing and research of the electronic continuous non-destructive measuring system on temperature monitoring of coke battery, which could quickly adjust the characteristics and parameters of the coke production technological process, as well as justify ways on coke production improving.

The study object is the electronic system for temperature measuring on the coke oven in the AKHZ conditions.

The research subject is methods, tools and algorithms on the accuracy improving of the electronic measuring system of the coke oven temperature in the AKHZ conditions.

Research methods are methods of analysis and logical generalization, mathematical and computer modeling of technical systems, the theory of information and measuring systems accuracy, analysis and synthesis of the electronic systems structural schemes.

In the master's final qualification work the main goal of the research is achieved by substantiating of the structural and algorithmic organization of the electronic system and its simulation tests.

Key words: coke, electronic system, measurement, pyrometer, optical sensor.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	10
1 КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОКСОВИХ БАТАРЕЙ.....	13
1.1 Техніко-функціональні характеристики протікання технологічного процесу виробництва коксу.....	13
1.2 Критичний аналіз параметрів технологічного процесу коксування.....	16
1.3 Відомі методи вимірювального контролю температури в умовах коксохімічних виробництв.....	23
1.4 Аналіз типових реалізацій безконтактних засобів вимірювального контролю температури.....	31
1.5 Мета й задачі дослідження магістерської роботи.....	35
1.6 Висновки.....	36
2 СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНА ОРГАНІЗАЦІЮ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОКСОВОЇ БАТАРЕЇ.....	37
2.1 Загальні вимоги до структури електронної системи контролю температури коксових батарей.....	37
2.2 Базове функціональне забезпечення електронної системи.....	40
2.3 Висновки.....	43
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОКСОВОЇ БАТАРЕЇ.....	44
3.1 Оцінка й аналіз параметрів вихідного кола фотоприймального пристрою.....	44
3.2 Постановка вимог до попереднього підсилювача електронної системи.....	47

3.3	Постановка вимог до нормуючого підсилювача електронної системи.....	51
3.4	Висновки.....	58
4	ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЩОДО РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ КЛАСИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВИМІРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ КОКСОВОЇ БАТАРЕЇ.....	59
4.1	Апаратно-програмні компоненти моделі.....	59
4.2	Імітаційна модель електронної системи вимірювання температури.....	61
4.3	Модель бездротового інтерфейсу передачі результатів вимірювального контролю.....	64
4.4	Висновки.....	67
	ВИСНОВКИ.....	68
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70
	Додаток А – Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	73

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Динамічне зростання темпів автоматизації та цифровізації коксових виробництв промислових підприємств є одним із найбільш раціональних і об'єктивних способів зростання продуктивності функціонування підприємства, мінімізації витрат сировинних ресурсів, економічного планування робіт, збільшення продуктивності при роботі підприємств коксохімічної промисловості, а також підвищення якості вихідної продукції (коксу) та інших похідних продуктів коксохімічного виробництва.

Структурно-функціональна організація електронних систем, що входять до складу автоматизованих комплексів керування технологічними процесами знаходиться в залежності від конкретних потреб коксохімічних виробництв промислових підприємств. Автоматизовані системи керування технологічними процесами будуються з обліком тенденцій розвитку промислових контролерів, сенсорних та інфоркомунікаційних технологій цифровізації. До структури таких систем входять декілька незалежних виробничих процесів, що об'єднані інфокомунікаційними мережами, що реалізують візуалізацію, підтримку та забезпечення протікання виробничих циклів підприємства.

Для натурної реалізації енергоефективної продуктивності коксових батарей необхідно використовувати сучасні науково обґрунтовані методи та засоби вимірювального контролю їх температурними режимами. Збільшення енергоефективної складової продуктивності режимів використання коксувальної батареї на ПРАТ Метінверст «Авдіївський коксохімічний завод» забезпечує, окрім значного підвищення економічної та екологічної складових загального результату, також скорочення позапланових простоїв технологічного обладнання та раціоналізацію планування робіт з ремонту та технічного обслуговування протікання технологічних процесів.

Отже, вирішення задачі розробки та дослідження електронної системи вимірювання температури коксової батареї в умовах ПРАТ Метінверст

«Авдіївський коксохімічний завод» є актуальною.

Мета і завдання досліджень. Основна мета цієї кваліфікаційної роботи магістра полягає в розробці та дослідженні електронної системи безперервного неруйнівного вимірювального контролю температури коксової батареї, що дозволить оперативно в режимі реального часу корегувати характеристики й параметри технологічного процесу виготовлення коксу, а також обґрунтувати шляхи із підвищення ефективності коксохімічного виробництва.

Задля досягнення поставленої і обґрунтованої основної мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- критично проаналізувати відомі методи та засоби безконтактного неруйнівного вимірювального контролю температури в умовах коксохімічних підприємств;

- синтезувати структурно-алгоритмічну організацію оптико-електронної системи вимірювання температури коксової батареї;

- поставити вимоги до елементної бази електронної системи вимірювання температури коксової батареї;

- обґрунтувати алгоритмічне забезпечення щодо розширення функціональних можливостей класичних електронних вимірювачів температури коксової батареї;

- виконати оцінку й розрахунок основних показників охорони праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на відповідному виробництві.

Об'єкт дослідження – електронна система вимірювання температури коксової батареї в умовах ПРАТ «АКХЗ».

Предмет дослідження – способи, засоби і алгоритми підвищення точності електронної системи вимірювання температури коксової батареї в умовах ПРАТ «АКХЗ».

Методи досліджень: способи аналізу і логічного узагальнення, математичного й комп'ютерного моделювання технічних систем, теорія точності інформаційно-вимірювальних систем, аналіз і синтез структурних схем електронних систем.

Наукова новизна одержаних результатів у магістерській роботі полягає у синтезі структурно-алгоритмічну організацію електронна система вимірювання температури коксової батареї з задовільними метрологічними та розширеними функціональними характеристиками, що дозволяє підвищити ефективність протікання технологічних процесів в умовах коксохімічних підприємств.

Практичне значення одержаних результатів у магістерській роботі полягає в обґрунтовані апаратно-програмного забезпечення електронної системи неруйнівного вимірювального контролю температури коксової батареї із використання серійної широкодоступної компонентної бази й загальновідомих електронних обчислювальних технологій.

Особистий внесок здобувача. Автором кваліфікаційної роботи на здобуття ОС «Магістр» самостійно було обґрунтовано структурну схему і алгоритми роботи електронної системи, сформульовано вимоги до компонентної бази системи, обґрунтовано мету й задачі роботи, сформульовано основні висновки роботи.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Структура кваліфікаційної роботи на здобуття ОС «Магістр» визначена загальними вимогами до схеми та підходів до проведення науково-практичних досліджень із обліком теперішніх тенденцій розвитку науки і техніки, основною метою досліджень та шляхами розв'язання основних задач досягнення. Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та 1 додатка. Загальний обсяг роботи містить 79 сторінок друкованого машинописного тексту, зокрема 65 сторінок основного тексту, 21 рисунок, 1 таблицю та перелік використаної літератури із 23 найменувань.

1 КРИТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОКСОВИХ БАТАРЕЙ

1.1 Техніко-функціональні характеристики протікання технологічного процесу виробництва коксу

Кокс – це твердий матовий чорний пористий продукт, який отримується з вугілля спеціальних марок. З однієї тонни сухої суміші можна отримати при раціональному виробництві від 650 до 750 кг готової продукції – коксу [1]. Такий продукт (кокс) призначено для використання в чорній і кольоровій металургії, ливарно-прокатному виробництві, а також під час газифікації, виготовлення карбіду кальцію, електродів, як реагент і палива в багатьох галузях хімічної промисловості.

Кокс при його виробництві має мати достатні показники механічної міцності, адже він здатен руйнуватися в металургійних печах під впливом тиском колони, що завантажує, та призводити до порушення їх нормальної роботи, а також знижувати загальну продуктивність підприємства. Теплотворна спроможність коксу за нормами повинна знаходитись у діапазоні від 31,4 МДж/кг до 33,5 МДж/кг [2]. Кокс виробляється на коксохімічних заводах шляхом фізико-хімічних процесів, що призводять до розкладання коксівного вугілля без доступу до нього повітря. Основними показниками якості готового коксу є реакційна здатність і займистість. Перший параметр характеризує швидкість відновлення їм двоокису вуглецю, а другий – швидкість спалювання коксу. Обидва такі фізико-хімічні процеси є неоднорідними, швидкість їх протікання обумовлена не тільки загальним складом коксу, а і його розкидом, так як від нього залежить поверхневий контакт фаз, що взаємодіють між собою. Опосередкованими та не менш важливими показниками якості коксу є загальний вміст золи, сірки, виходу летючих і вологи.

Сірка, що входить до складу коксу, при реалізації доменної плавки перетворюється на чавун, що призводить до значного погіршення його властивостей. Допустиме нормами значення концентрації сірки у коксі лежить у межах від 1,3 до 1,7 %. Граничне значення концентрації золи, що міститься в коксі становить 17 %. Показник виходу летючих газових компонент становить близько 1,0 %. У коксі допустимий вміст вологи становить до 5 %. Подальше збільшення вологи знижує спроможність коксу до теплоутворення.

Приведене значення кількості коксового газу до 1 т сухого вугілля становить від 320 до 350 м³. Через підвищення температури коксування формується структура коксу і подальший вихід коксового газу. У коксовій батареї, де безпосередньо протікає технологічний процес коксування, утворюється коксовий газ, який називають прямим. Цей газ містить у собі газоподібні продукти, кам'яновугільну смолу в стані пару, воду та сирий бензол. Після видалення із прямого коксового газу бензолу, смоли, аміаку та води утворюється коксовий газ, що має назву зворотній. Такий газ використовується в якості сировини для синтезу в хімічній промисловості. Також зворотній коксовий газ використовується для обігріву коксових і сталеплавильних печей.

Утворена в результаті вищезазначених реакцій кам'яновугільна смола являє собою чорну тягучу з сірувато-коричневим відтінком суспензію. Смола має особливий ароматизований розчин. До складу кам'яновугільної смоли входить приблизно триста різних хімічних елементів і їх з'єднань. Основними значущими елементами, що входять до складу смоли, є нафтопродукти, ксилоли, метилбензол, крезолі, флороглуцин, фенантрен, вуглеводень, піридин, карбазол та ін. [3]. Показник щільності смоли в нормі становить від 1,2 до 1,7 г/см³. Із вугілля, що підлягає коксуванню, показник виходу кам'яновугільної смоли становить від 3 до 4 % [3]. Хімічний склад кам'яновугільної смоли обумовлено наступними факторами і параметрами: марка вугілля та температура процесу протікання коксування. При збільшенні температури коксування динамічно зростає піроліз вуглеводневих компонентів.

Це, в свою чергу, призводить до збільшення показника виходу кокосового газу та зменшує вихід смоли. Зі смоли виготовляють значну кількість продуктів, які використовуються в промислових цілях для виробництва барвників, пластичних мас, хімічних волокон, інсектофунгіцидів, лікарських і фармацевтичних препаратів та ін. Концентрація сирового бензоли під час виходу становить на рівні 1,1 % від загальної маси вугілля. Цей показник напряму залежить від марки, характеристик і фізико-хімічних властивостей вугілля, а також від його складу та температурного режиму під час протікання промислового виробництва. Зі сирового бензолу виготовляють для хімічної промисловості вуглеводні з ароматичними властивостями та інші суміші вуглеводнів. Кам'яновугільна смола та сирий бензол знайшли застосування в якості основи для отримання в хімічній промисловості вуглеводнів з ароматними властивостями.

Ще одним продуктом, який генерується під час протікання процесу коксування, є надсмольна вода, що являє собою розчин води зі солями аміаку та амонію. До складу надсмольної води входять домішки піридинових основ та фенолу, а також інші речовини. При переробці надсмольної води отримується аміаковий газ, який у сукупності з коксовим газом використовується під час отримання аміачної води більшої концентрації та сульфату амонію.

Промислове виробництво коксу відноситься до найстаріших та науково опрацьованих виробництв у хімічній і металургійній промисловостях. До другої половини дев'ятнадцятого сторіччя виробництво коксу виконувалося лише для цілей металургійної промисловості [2, 4]. Починаючи з другої половини дев'ятнадцятого сторіччя після того, як було отримано анілін з нітробензолу в промисловості різко зросла необхідність у таких речовинах, як нафталін, толуол, крезолі, феноли, антрацен, бензол, крезолі та багато ін. Вищезазначені сполуки містяться в кам'яновугільній смолі та сирому бензолі. Ці речовини переробляються з відходів, які отримуються під час коксохімічного виробництва, та є необхідними та значущими продуктами. На виробничих процесах усіх коксохімічних підприємств використовуються

промислові установки, що виконують вловлювання й акумуляцію сирого бензолу та кам'яновугільної смоли.

Для коксування в якості основної сировини використовується вугілля, що спекається. Це дає можливість отримувати пористий та вогнетривкий кокс для цілей металургійної промисловості. Так, наприклад, у коксохімічній промисловості використовується коксівне вугілля марки К. Під час реалізації технологічних процесів коксохімічних виробництв здебільшого використовується суміш-шихта. До її складу окрім коксівного вугілля входить також вугілля певних інших марок. Використання таких марок вугілля дозволяє розширити номенклатурний ряд сировини для коксохімічної промисловості. Це дозволяє отримати кокс значно більш високої якості та покращити показники виходу сирого коксового газу, бензолу й смоли. З метою виробництва коксу потрібно використовувати вугілля, що містить у собі вологу в діапазоні від 5 % до 9 %, сірку від 0 % до 2 %, а також золу від 0 % до 7 %. [1, 2].

1.2 Критичний аналіз параметрів технологічного процесу коксування

Під час протікання технологічних процесів на хімічних виробництвах початковою операцією є підготовка шихти та сировинної бази. До коксохімічного виробництва поступає вугілля, що сортується й розподіляється за певними властивостями та гранулометричним складом на групи. Після цього виконуються операції дробіння та змішування, а під час процесу збагачення виконується просівання коксу, флотація та зменшення вмісту пилу, а також процедури, що дозволяють зменшити та / або повністю усунути домішки.

Після цього всі компоненти шихти подрібнюються та сушаться до фракцій, гранулометричний склад яких не перевищує 3 мм. Компоненти шихти після підготовки завантажуються до хімічного агрегату, що змішує, а після цього до входу накопичувальних бункерів. Підготовлена та дозована шихта поступає до бункерів вагона, що виконує функцію завантаження. Такий вагон

транспортує шихту до камер коксових батарей. Фото зовнішнього вигляду типової коксової батареї представлено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд типової коксової батареї

На рисунку 1.2 наведено типову структуру коксової батареї, де введено наступні позначення: 1 – виштовхувач коксу; 2 – газозбірник; 3 – стояк; 4 – люк; 5 – вагон, що завантажує; 6 – гасільна вежа; 7 – герметичні двері; 8 – рампа; 9 – гасильний вагон; 10 – газопровід; 11 – коксова камера; 12 – регенераційний пристрій; 13 – простінок; 14 – вежа вугільна [6].

Процес нагріву вугілля супроводжується рядом хімічних і фізичних перетворень стану речовини: за температури до 250°C відбувається випаровування волога, виділення окису (CO) й двоокис вуглецю (CO_2); за температури близько 300°C починається процес виділення парів смоли й генерація пірогенетичної води; за температури понад 350°C вугілля переходить змінює фазовий стан на пластичний; за температур від 500°C до 550°C

починає спостерігатись процес розкладання пластичної маси, що супроводжується виділенням первинних продуктів розкладу (смола й газ) та її наступне затвердіння з утворенням напівкоксу. Подальше зростання температури до 700 °С обумовлює розкладання напівкоксу та виділення з нього газоподібних речовин; зростання температури вище 700 °С переважно обумовлює зміцнення коксу. Летючі продукти під час зіткнення із розпеченим коксом та розігрітими стінками камери, в якій протікає процес коксування, перетворюються на складну суміш парів (переважно зі з'єднань ароматного ряду) і газів, що містять метан, водень та інші речовини. Значна частина сірки, що утворюється у вихідному вугіллі і всіх мінеральних речовин залишається, в готовому коксі [6].

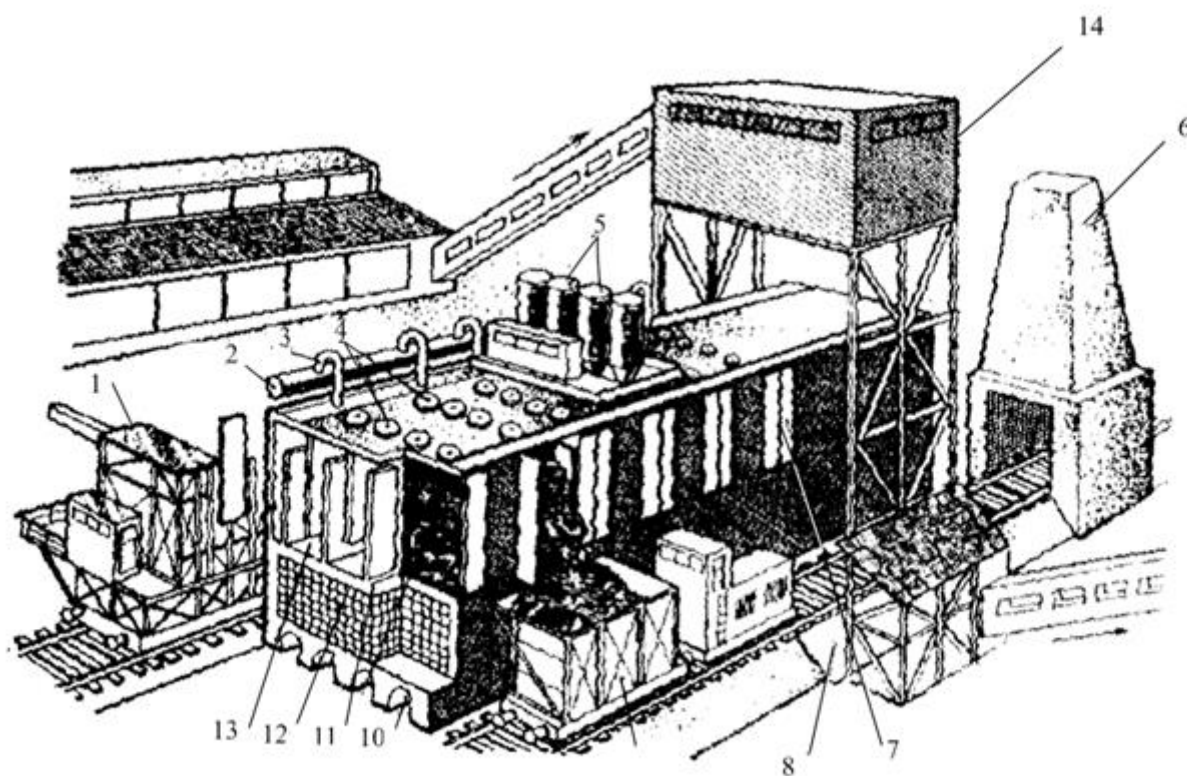


Рисунок 1.2 – Типова узагальнена структура коксової батареї

Типова коксова піч являє собою агрегат для нагрівання вугілля опосередкованим методом. У цих апаратах тепло від нагрітих газів передається

через стінку до вугілля, що підлягає процедурі коксування. Для визначення процесу нагрівання використовується зміна основного фактора, а саме зростання температури у встановленому динамічному діапазоні. Тобто для реалізації коксування використовується принцип ендотермічних реакцій, що призводить до нагріву шихти до температури, яка характеризується протіканням процесу сухої перегонки. При зменшенні виходу смоли і сирого бензолу спостерігається обмеження подальшого підвищення температури. Також на обмеження підвищення температури значною мірою впливає зміна хімічного складу речовин і продуктів, що генеруються при коксуванні вугілля.

Коксова піч, що являє собою сукупність коксова батарея, типову структуру якої представлено на рисунку 1.2, містить у своєму складі від 61 до 69 камер (11), що функціонують у паралельному режимі. Такі камери є протяжними й вузькими каналами, які характеризуються прямокутним перетином, як показано на рисунку 1.1. Стінки камер викладено з вогнетривкої цегли, що називається динасом. У кожній із камер печі вміщується від 15 т до 3 т шихти. Камера облаштована передньою та задньою дверима, що можуть зніматись. Під час завантаження двері камери мають бути щільно закриті. Під час розвантаження зазначені двері мають зніматись. Камера містить у своєму складі люки для завантаження (4). Такі люки відчиняються під час завантаження вугілля та зачиняються при протіканні процесу коксування. Завантажувальний вагон (5), який використовує рейковий шлях, що розташовано над коксовими камерами, подає шихту до відповідної коксової камери, що реалізується із використанням люків завантаження [6].

Технологічний процес протікає наступним чином: з одного боку переміщуються виштовхувач коксу від коксової батареї (1), а з другого – гасильний вагон (9). Виштовхувач коксу (1) і гасильний вагон (9) переміщуються вздовж рейок. Після завершення процесу коксування виштовхувач коксу (1) відчиняє двері камери та виштовхує кокс. У цей момент завантажуються кокс до гасильного вагона (9). Вагон перевозить кокс до

гасильної вежі (6), а після завершення транспортування виконується вивантажування його до рампи (8).

Через стінки камери димовими газами реалізується нагрівання вугілля в коксовій камері. Гази протікають через обігрівальні простінки, що розташовані між камерами коксової печі. Під час спалювання доменного та / або зворотного коксового і генераторного газів відбувається утворення гарячих димових газів. Енергія, що утворюється від димових газів, які проходять через простінки обігрівальних елементів, у подальшому використовується в регенераторах (12). Із використанням теплової енергії димових газів здійснюється нагрівання повітря та / або газоподібного палива. Паливо поступає для обігріву коксових печей. Завдяки зазначеним вище заходам збільшується загальний тепловий к.к.д. технологічного процесу, що протікає в коксовій печі.

З метою забезпечення показника рівномірності прогрівання вугільного завантаження при функціонуванні коксової камери реалізують технічні прийоми щодо раціональності обґрунтування габаритів камери та рівномірного розподілення нагрівальних газів у простінку батареї, що підлягає обігріванню. Ширина камери зазвичай повинна становити від 400 мм до 450 мм [6]. На показник довжини камери впливають наступні обмеження й фактори: статична міцність простінків та ускладнення відведення коксу з камери, рівномірний розподіл газів вздовж обігрівального простінку. Довжина коксової камери типової печі становить 14 м. Висота камери визначається умовою рівномірності процесу обігріву камери вздовж усієї висоти, отже, висота коксової камери становить близько 5,5 м.

Умова рівномірності розподілу газів, що обігрівають, виконується через використання вертикальних перегородок на розподільчих каналах, які поділяють простінки обігрівання. Вертикальні перегородки отримали назву вертикалів. Гази, що підлягають процесу нагрівання, рухаються вздовж вертикалів. Ці газы передають теплову енергію стінкам камери та рухаються в напрямку пристрою регенерації. Різниця температури між газами не

залишається постійною величиною в каналі обігрівання та вздовж вугільної шихти.

Після того, як відбулось завантаження коксової камери шихтою кількість тепла різко зростає. До холодної шихти за певний короткий проміжок часу надходить значна кількість теплової енергії, а отже, вугілля, що знаходиться поблизу стінок камери починає підвергатися процедурі коксування. Проте в середній частині камери прошарки шихти залишаються холодними.

На рисунку 1.3 представлено коксову камеру з шихтою в розрізі. На рисунку 1.3 введено наступні умовні позначення: 1 – стінка камери; 2 – кокс; 3 – вугілля, що знаходиться в пластичному стані; 4 – шихта, що не змінюється; 5 – напівкокс [6].

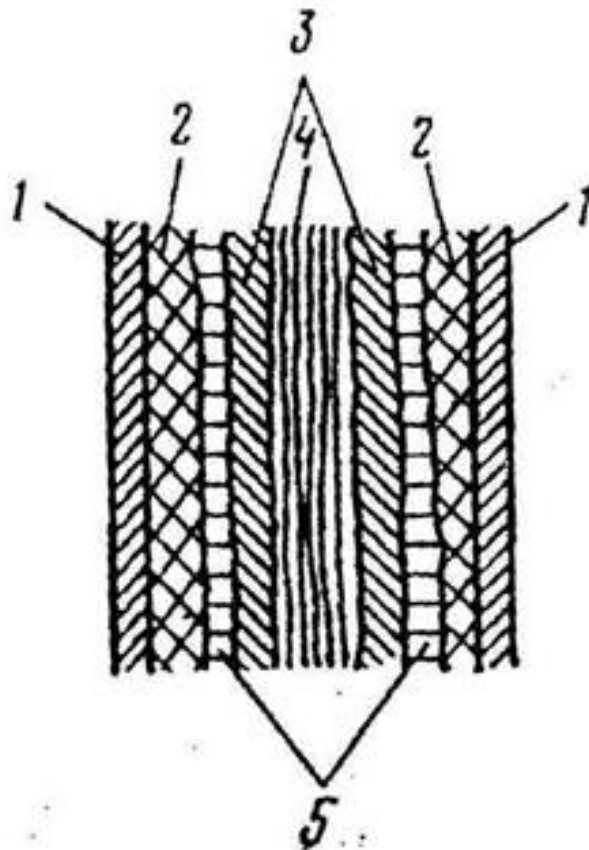


Рисунок 1.3 – Умовне позначення розрізу коксової камери з завантаженою до неї шихтою

Під час протікання процесу прогрівання вугілля починає поступово зменшуватись градієнт температур, що обумовлює зниження кількості теплової енергії за певний проміжок часу. Проте, кількість теплової енергії постійно надходить від газів, що призводить до певного зростання температури в перетині усієї коксової камери. Цей факт спричиняє наступний ефект, як показано на рисунку 1.3: поблизу стінок камери утворюється прошарок коксу, а під час зменшення температури від стінок вздовж осі коксової камери утворюється прошарок напівкоксу. У цей момент часу вугілля знаходиться в пластичному стані, а в центрі коксової камери знаходиться шихта, що не змінюється. Через певний проміжок часу, що орієнтовно дорівнює від 12 год. до 14 год., температура вирівнюється вздовж перетину камери. Тим самим, прошарки зміщуються в напрямку осі коксової камери та вугільне завантаження починає поступово прококсуватись. Після завершення процедури коксування нагрівальні пристрої вимикаються, а стояки перемикаються. У той час до дверей коксової камери наближується агрегат для виштовхування, який переміщує кокс до гасильного вагону, який рухається на малій швидкості через коксову батарею. Виштовхувач виконує функцію навішування дверей порожньої камери та починає переміщення до наступної коксової камери. Вагон завантаження відчиняє люки та завантажує нову партію шихти. Цей процес є циклічним. Процедури завантаження та розвантаження однієї коксової камери триває приблизно 15 – 20 хв. Так для оптимального реалізації процесу коксування загальна кількість камер в одній батареї має дорівнювати 70. Кокс, що вивантажується з вагону, піддається гасінню, так як під час зіткнення його з повітрям генерується процес загорання. Вагон, що виконує функцію гасіння, переміщує готовий кокс до вежі, де він після реакції з водою пересипається на рампу та охолоджується від 20 до 25 хвилин. Далі виконується транспортування коксу до сортування.

За умови реалізації вище описаного технологічного циклу вихід коксової продукції становить від 70 % до 80 % на одиницю маси шихти. Середній показник ефективності однієї коксової батареї становить близько 1500 т коксу

за добу. В залежності від цільового призначення кокс розділяють на наступні категорії: доменний, енергетичний і ливарний. Енергетичний кокс призначений в основному для виготовлення: карбіду кальцію, електродів, феросплавів, а також для агломерації залізних руд.

Вихід продуктів із 1 т шихти, % [6]:

– кокс валовий сухий	75,2;
– кокс пековий	0,03;
– кам'яновугільна смола	3,86;
– нафталін	0,16;
– кам'яновугільний бензол	0,85;
– ангідрид фталевий	0,001;
– амонію сульфат	0,01;
– коксовий газ зворотний	12,9;
– кислота сірчана	0,006.

Для підвищення економічної складової загальної ефективності виробничого процесу коксу необхідними до виконання є умови вдосконалення технології його отримання. Впровадження та реалізація методу коксування, що дозволить виробляти кокс безперервно, надасть можливості й передумови щодо зниження собівартість коксу на величину до 30 %. Цей ефект може бути досягнутий через розробку і впровадження способів і засобів гасіння коксу з використання інертних газів, що дозволяє покращити якість коксу та загальну ефективність коксохімічних підприємств.

1.3 Відомі методи вимірювального контролю температури в умовах коксохімічних виробництв

На теперішній час відома значна кількість методів вимірювального контролю температури в умовах промислових підприємств. Проте огляд і аналіз відомих методів, довів, що в цілому вони можуть бути поділені на безконтактні й контактні способи. Контактні способи базуються на введенні у

контрольоване середовище щупа, що вимірює, та створенні контакту, що містить відповідний термоелектричний чутливий елемент. В такому випадку за значення температури контрольованого середовища приймають температуру вимірювального щупа. Безконтактні способи базуються на детектуванні термометричних властивостей контрольованого середовища та / або об'єкта.

На підставі бібліографічного аналізу сучасних літературних джерел, було встановлено факт, що значного розповсюдження отримали такі контактні засоби вимірювання температури:

- біметалічні, манометричні та скляні рідинні термометри;
- платинові, мідні та напівпровідникові терморезистори;
- термопари;
- аналогові й цифрові термосенсиори;
- сенсори температури на базі кварцових пластин;
- ємнісні термосенсиори.

Проте використання контактних засобів вимірювання температури не завжди є можливим з точки зору техніки вимірювань, тому необхідним до використання є безконтактний спосіб вимірювання, що дозволяє однозначно встановити температуру контрольованого об'єкту на певній відстані. У теперішній час широкого застосування набули такі безконтактні вимірбачі температури в промислових умовах:

- фотоелектричні, оптичні, радіаційні та колірні пірометри;
- пірометри на базі принципу спектрального відношення;
- пірометри на базі принципу повного відношення;
- тепловізорні системи.

На підставі аналізу перелічених вище засобів і методів, встановлено, що використання безконтактних способів вимірювального контролю температури для умов режиму обігріву коксових печей на ПРАТ «АКХЗ» є найбільш доцільним і раціональним, адже діапазон контрольованих температур пірометрів та їх основні функціональні й метрологічні параметри відповідають робочому діапазону вимірюваних температур об'єкту.

Сучасні оптичні способи вимірювання температури об'єктів через визначення їх теплового випромінювання, досить часто, називають опосередкованими методами пірометричного випромінювання. У свою чергу, такі засоби вимірювального контролю температури об'єктів через їх теплові характеристики випромінювання прийнято називати пірометрами. Одна з характерних особливостей сучасних серійних пірометрів заключається в тому, що вимірювальна інформація щодо температури передається до засобів обчислень безконтактним способом. Отже, через це мінімізується вплив великої кількості дестабілізуючих факторів, від яких не дозволяє позбутися контактна термометрія. Проте оптичним пірометри присущі ряд недосконалостей, вони характеризуються недоліками, що пов'язані з вибірковістю випромінювання й поглинання, принциповими технологічними дефектами оптичних компонент, недостатнім показником ступеня чорноти об'єктів контролю та еталонних засобів. За характером випромінювання, що детектується, розрізняють пірометри, які контролюють неперервний і дискретний спектри.

Фізико-математичною основою пірометрії є функціональна залежність Планка, що використовується для абсолютно чорного тіла. Сутність будь-якого термометричного способу полягає в прив'язці вимірювань до абсолютної температурної динамічної шкали. Навіть у випадку АЧТ прив'язка до абсолютного нуля та потрібній точці води через незначну інтенсивність обміну енергією позбавлена практичної реалізації. Для оптоелектронних пірометрів за вихідну точку прийнято показник температури плавлення золота, що прив'язана до абсолютної шкали вимірювань щодо газових температур і через використання термопар. У так званій, «золотій» точці обмін енергією є достатньо інтенсивний, а невизначеності вимірювань є відносно незначними. Другою точкою калібрування є абсолютний нуль температур. Через труднощі визначення абсолютного нуля другу точку можна підтримувати за температури 0°C , нехтуючи параметрами та впливом зворотного випромінювання. Невизначеність, яка при цьому вноситься становить не більше 0,2 %, що відповідає температурі плавлення золота менше, ніж на $0,7^{\circ}\text{C}$.

На підставі аналізу формули Планка для об'єктів з безперервним чорним випромінюванням можна визначити такі основні прийоми неконтактного вимірювального контролю температур.

Температура встановлюється через повну енергетичну світимість об'єкта контролю:

$$T = T_{Au} \left[\frac{G(T)}{G(T_{Au})} \right]^{1/4}, \quad (1.1)$$

де $G(T)$ – функція повної енергетичної світимості об'єкта.

Температура встановлюється на підставі інтенсивності монохроматичного випромінювання на певній довжині хвилі оптичного випромінювання λ_{MAX} , що відповідає максимальному значенню щільності енергетичної світимості:

$$T = T_{Au} \left[\frac{I_S(\lambda_{MAX}, T)}{I_S(\lambda_{AuMAX}, T_{Au})} \right]^{1/5}, \quad (1.2)$$

де $I_S(\lambda_{MAX}, T)$ – функція інтенсивності монохроматичного випромінювання об'єкта контролю.

Такі вищенаведені способи є ергономічними через вплив похибок вимірюваного параметра на загальну точність вимірювального контролю температури; за значення похибці вимірювання до 1 %, похибка результату становитиме від 0,2 до 0,3 %. На базі до закону Віна, температура може бути визначена через довжину хвилі, яка відповідає максимуму спектральної щільності енергетичної світимості об'єкта контролю:

$$T = \frac{c_2}{\lambda_{MAX}}. \quad (1.3)$$

Наведена залежність (1.3) має простий вигляд, проте її важко застосовувати на практиці через пологість екстремуму функції спектральної щільності енергетичної світимості об'єкта контролю. Поряд із максимумом щільність енергетичної світимості функція є нечутливою до зміни довжини хвилі. А, отже, можлива наявність значних похибок при безпосередньому вимірюванні λ_{MAX} , а також за великих значень похибок λ_{MAX} відповідна щільність енергетичної світимості $I_S(\lambda_{MAX}, T)$ визначається з відносно великою точністю. З аналізу рівняння Планка отримана така функціональна залежність:

$$\frac{I_S(\lambda, T)}{I_S(\lambda_{MAX}, T)} = \frac{\lambda_{MAX}^5}{\lambda^5} \cdot \frac{142,32}{e^{\frac{4,9651 \cdot \lambda_{MAX}}{\lambda}} - 1}. \quad (1.4)$$

На підставі рівняння (1.4) з достатньо великою точністю може бути визначений параметр λ_{MAX} . Для цього необхідно визначити значення функції $I_S(\lambda, T)$ за відомої довжини хвилі випромінювання λ . Для підвищення точності визначення λ_{MAX} , параметр довжини хвилі λ повинен бути віддалений від λ_{MAX} на оптимальну відстань. Незважаючи на певні переваги, що можуть бути отримані з аналізу наведеного вище рівняння (1.4), зазначена методика є складною у реальних умовах експлуатації та не має широкого використання у практичних цілях.

Більш зручнішою є виконання вимірювань енергетичних світимостей $I_S(\lambda_1, T)$ та $I_S(\lambda_2, T)$ на двох різних довжинах хвиль оптичного випромінювання λ_1 та λ_2 , що фіксуються за допомогою вузькосмугових світлофільтрів. З аналізу рівняння Планка значення температури може бути визначено на підставі відношення енергетичних світимостей потоку випромінювання $I_S(\lambda_1, T)/I_S(\lambda_2, T)$ на двох різних довжинах хвиль. У цьому передбачається, що об'єкт, який випромінює, характеризується однаковим показником чорноти у всьому спектрі випромінювання. Під час реалізації такої методики показник ступеня чорноти виключається з розглянутого рівнянь та температура

контрольованого об'єкта встановлюється лише на підставі відношення світимостей.

Спосіб ізохромат заключається у порівнянні монохроматичних показників світимостей об'єкта за різних температур. Для АЧТ необхідно знати лише значення температури та монохроматичну світимість за фіксованого значення точки, щоб у подальшому оцінити температуру через монохроматичну світимість. За відносно низьких температур (менше 2000 °С) у рівнянні Планка можна знехтувати одиницею відносно експоненційної складової. У такому випадку для визначення температури може бути використана наступна формула:

$$\frac{1}{T_{Au}} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln\left(\frac{I_S(\lambda, T)}{I_S(\lambda, T_{Au})}\right) = \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln(\Phi). \quad (1.5)$$

При вимірюванні температур менших ніж 2000 °С крізь червоний світловий фільтр похибка, що обумовлена неточністю наведеного вище рівняння не перевищує 0,85 °С. Під час вимірювань більш високих температур рівняння способу ізохромат має такий вид:

$$\ln\left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1\right) = \frac{c_2}{\lambda T_{Au}} - \ln(\Phi). \quad (1.6)$$

Під час використання безконтактного методу вимірювального контролю температур об'єктів широке застосування на практиці в стандартизованій апаратурі знайшли перший, четвертий і п'ятий способи.

Так як, під час рішення практичних завдань щодо вимірювального контролю температур має місце невизначеність випромінювання (показник ступеня чорноти є меншим за 1), отже, використання пірометричних засобів, які відкалібровані за параметром випромінювання АЧТ, супроводжується наявністю додаткових методичних похибок. Задля встановлення значень цих

похибок можуть бути застосовані формули, що отримані на підставі закону Планка.

– для яскравісного способу:

$$\frac{1}{T_{\text{я}}} - \frac{1}{T} = \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln\left(\frac{1}{\varepsilon_{\lambda}}\right). \quad (1.7)$$

– для колірнього способу:

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{T_K} = \frac{\ln(\varepsilon_{\lambda_1}/\varepsilon_{\lambda_2})}{c_2\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)}, \quad (1.8)$$

– для радіаційного способу:

$$T_p = T \sqrt[4]{\varepsilon}. \quad (1.9)$$

де T – дійсне значення абсолютної температура контрольованого об'єкту, К.

На підставі порівняльного аналізу можливих значень методичних складових загальної похибки розглянутих вище способів вимірювання температур представлено в таблиці 1.1. Цей результат доводить те, що за практичних умов виконання вимірювань радіаційна і ярісна температури виявляються нижчими за дійсне значення, тобто $T_{\text{я}} < T$; $T_p < T$. Проте, за однієї і тієї ж дійсної незмінної температури T виконується наступне важливе співвідношення:

$$T_p < T_{\text{я}} < T. \quad (1.10)$$

Характерною особливістю колірнього способу (способу спектрального відношення), у якому температура T_K встановлюється на підставі відношення

інтенсивностей випромінювання на двох різних довжинах хвиль оптичного випромінювання λ_1 і λ_2 , заключається в тому, що методична складова похибки відсутня не тільки при вимірюваннях температури АЧТ, але також і при вимірюваннях температур об'єктів, що відносяться до категорії сірих тіл. У кожного з таких сірих об'єктів показник ступеня чорноти за будь-якої довжини хвилі є однаковим, тобто $\varepsilon_{\lambda_1} = \varepsilon_{\lambda_2}$. Отже, виконуються умови: $\ln(\varepsilon_{\lambda_1}/\varepsilon_{\lambda_2}) = 0$ і $T = T_K$.

На підставі критичного аналізу оптичних неруйнівних способів вимірювального контролю температури об'єктів, а також з обліком характерних особливостей технологічних процесів, що протікають під час обігріву коксової печей в умовах ПРАТ «АКХЗ», було обрано в якості базового спосіб спектрального відношення. Основні недоліки і переваги такого методу представлено на рисунку 1.4.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика методів вимірювання температури тіл за їх тепловим випромінюванням

Метод	Міра температури	Фактори, які впливають на точність вимірювання	Оцінка методичної похибки
Яrkісний (монохроматичний)	Інтенсивність монохроматичного випромінювання J_λ , Вт/м ³	Спектральний ступень чорноти ε_λ тіла	$T_J = T$, якщо $\varepsilon_\lambda = 1$; $T_J < T$, якщо $\varepsilon_\lambda < 1$.
Радіаційний (повного випромінювання)	Повна випромінювальна здатність тіла E , Вт/м ²	Інтегральний ступень чорноти ε тіла	$T_P = T$, якщо $\varepsilon = 1$; $T_P < T$, якщо $\varepsilon < 1$
Колірний (спектрального відношення)	Відношення спектральних інтенсивностей випромінювання $J_{\lambda 1}/J_{\lambda 2}$	Відношення спектральних ступенів чорноти $\varepsilon_{\lambda 1}/\varepsilon_{\lambda 2}$	$T_K = T$, якщо $\varepsilon_{\lambda 1} = \varepsilon_{\lambda 2}$; $T_K > T$, якщо $\varepsilon_{\lambda 1} < \varepsilon_{\lambda 2}$, де $\lambda_1 < \lambda_2$.

На обґрунтування вибору заявленого способу опосередковано також вплинули вимоги до допустимого температурного діапазону вимірювань температури із використанням методу спектрального відношення, який складає від 750 °С до 1500 °С. В, свою чергу, цей вимірювальний канал температури є основною структурною складовою досліджуваної електронної системи температури для умов ПРАТ «АКХЗ».

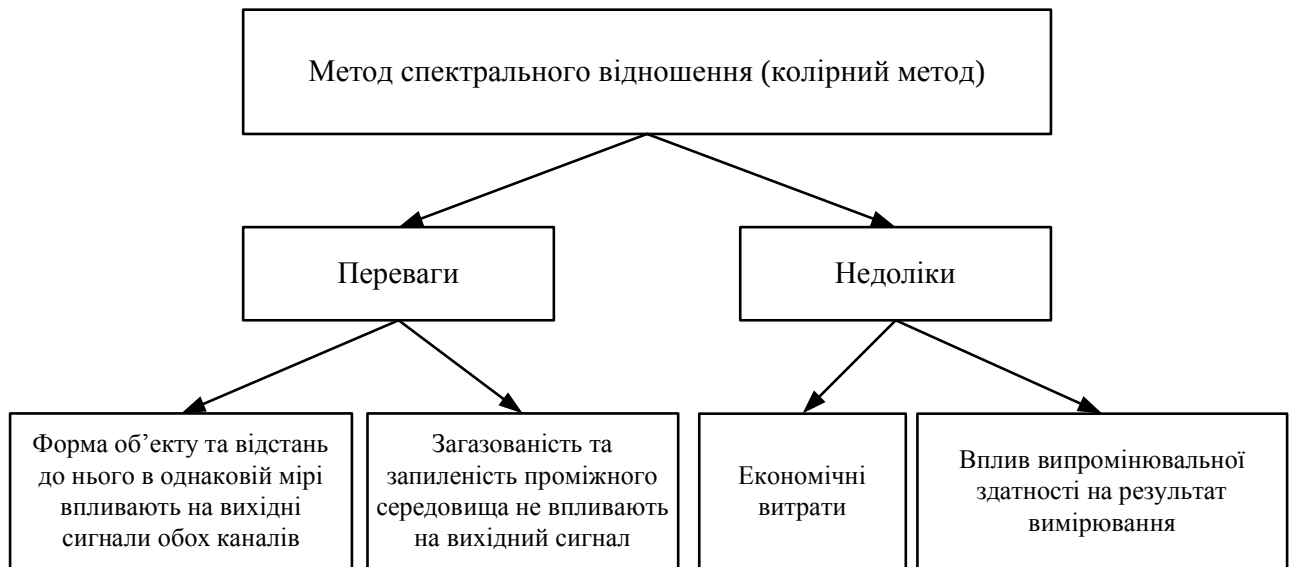


Рисунок 1.4 – Загальна характеристика способу спектрального відношення для вимірювання температур

1.4 Аналіз типових реалізацій безконтактних засобів вимірювального контролю температури

Ґрунтуючись на результатах бібліографічних досліджень із аналізу основних показників і характеристик технологічного процесу виготовлення коксу встановлено, що температура є одним із найбільш інформативних і впливових параметрів. З метою оптимізації та підвищення ефективності протікання технологічного процесу отримання коксу необхідно впроваджувати дистанційне безконтактне вимірювання температур. Задля вирішення цієї задачі виникає необхідність у інформаційному аналізі типових структурних реалізацій промислових пірометрів, які можна поділити на наступні типи:

- використовується одна частина спектрального розподілу оптичного випромінювання;
- використовується декілька ділянок спектральної характеристики випромінювання.

Типова структурна реалізація пірометра, що використовує одну ділянку спектральної характеристики, наведена на рисунку 1.5 [7, 8].

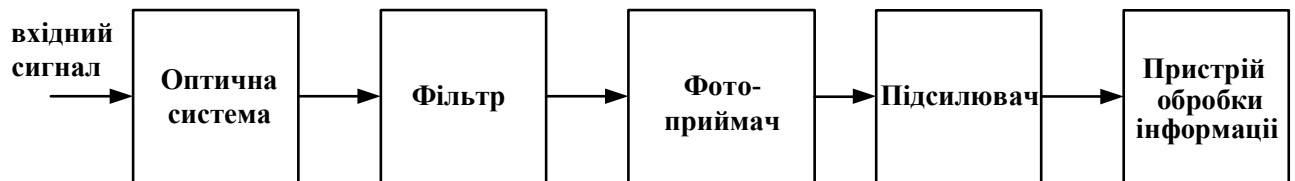


Рисунок 1.5 – Типова структурна схема пірометра, що використає одну ділянку спектральної характеристики оптичного випромінювання

Така структурна реалізація, що використовує одну ділянку спектральної характеристики, яку засновано на методі яскравісної пірометрії.

Типову структурну схему пірометрів, що використовують декілька ділянок спектральної характеристики випромінювання та, відповідно, два незалежних оптико-електронних канали для приймання й реєстрації цих сигналів, наведено на рисунку 1.6 [7, 8], де введено такі позначення: 1 – система оптична; 2 – модулятор; 3 – сукупність оптичних фільтрів; 4 – блок реєстрації оптичного випромінювання; 5 – підсилювач; 6 – детектор; 7 – блок обчислень.

Основною перевагою такої схеми є високий показник оперативності. До недоліків можна віднести: значні економічні витрати на реалізацію й впровадження вимірювальної апаратури; складність налаштування й періодичне калібрування коефіцієнтів передачі електронних компонент системи.

У випадку, коли показник оперативності вимірювального пристрою не є критичним, то рекомендованою до використання є схема вимірювача з одним електронним каналом та відповідними пристроями фільтрування, які

виконують просторовий і часовий розподіл оптичних потоків у часі. Типову структурну схему такого засобу виміральної техніки представлено на рисунку 1.7 [7, 8].

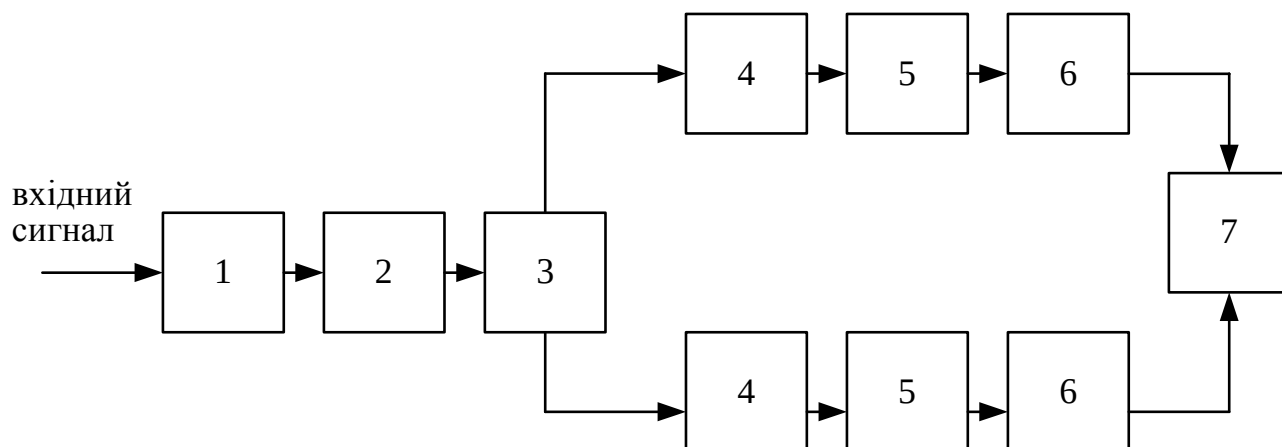


Рисунок 1.6 – Структурна схема типового пірометра, що використовує декілька ділянок спектральної характеристики випромінювання та два незалежних оптико-електронних канали прийому цих сигналів

Принцип дії такої схеми полягає в наступному. Оптичний потік випромінювання поступає на вхід оптико-електронного приймача випромінювання $П1$, де фокусується, і який оснащено об'єктивом $О$. Завдяки наявності в системі обтюратора з фіксованими отворами здійснюється часове переривання оптичного потоку. Такі конструктивні отвори реалізовано у вигляді секторів, до яких вмонтовані фільтри пропускання. Ці фільтри пропускають оптичне випромінювання лише певної визначеної ділянки спектрального випромінювання. На вхід оптико-електронного приймального пристрою випромінювання по чергово надходять два потоки, що характеризуються різними параметрами спектрального розподілу енергії $\Phi 1$ і $\Phi 2$, відповідно. Зазначені оптичні потоки перетворюються фотоприймачем у відповідну послідовність імпульсів напруги з амплітудними значеннями, величини яких однозначно визначаються номіналами потоків оптичного випромінювання $U1$ та $U2$. Завдяки наявності підсилювача $B1$ реалізується

посилення амплітуди імпульсів напруги та власної шумової складової приймача.

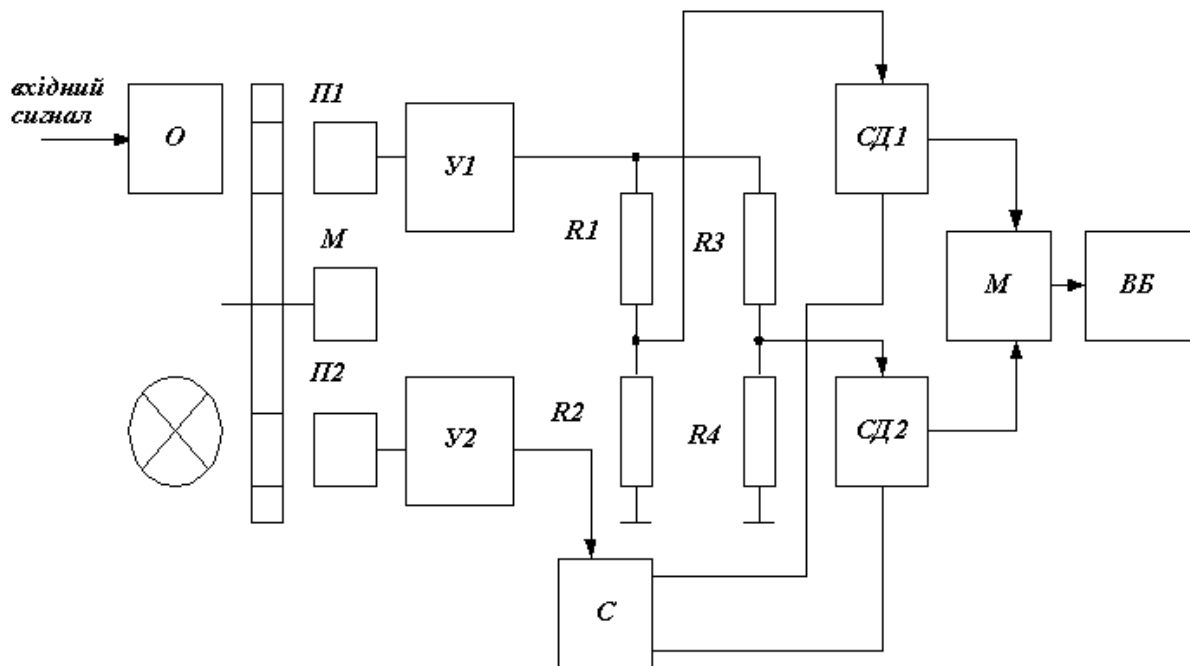


Рисунок 1.7 – Типова структурна схема безконтактного оптичного вимірювача температури пірометричного пристрою дії, що використовує дві ділянки спектральної характеристики з одним електронним каналом

На протилежному боці від об'єктиватора відносно оптичної осі «фотоприймальний пристрій – об'єктив» розміщується оптична система. Така система генерує вузькоспрямований промінь, що потрапляє до допоміжного фотоприймача *П2*. Об'єктиватором, який облаштовано додатковими секторами, також реалізується функція переривання допоміжного променя. Геометричні параметри дуги додаткових секторів дорівнюють геометричним характеристикам дуги робочих секторів. На вхід синхронного детектора *СД1* надходять лише ті імпульси, що сформовані від потоку $\Phi 1$ та потрапили до пристрою *П1*. На синхронний детектор *СД2* надходять імпульси, що згенеровані на базі потоку $\Phi 2$ та надійшли до *П2*.

Завдяки цій послідовності імпульсів здійснюється послідовна комутація синхронних детекторів. Одночасно з протіканням такого процесу на вхід пристрою *СД2* поступає напруга з резистивного діляника *R1–R2*, а на *СД2* – з резистивного діляника *R3–R4*. Режим роботи електронних ключів синхронізовано за допомогою пристрою синхронізації *С* таким чином, що в момент дії імпульсу, величина якого пропорційна величині потоку Φ_1 , генерується та надсилається імпульс синхронізації на *СД1*. У випадку, коли сформовано імпульс, величина якого пропорційна величині потоку Φ_2 , здійснюється подача імпульсу до пристрою *СД2*. Значення напруги на виході пристрою *СД2* є пропорційним амплітудному значенню імпульсів та відношенню номіналів опорів *R1/R2*, а на виході *СД1* – амплітуді імпульсів та відношенню опорів *R3/R4*. Якщо здійснити підбір постійних часу оптичних фільтрів, то можна реалізувати таке положення, що значення діючої напруги від шумових властивостей на виході *СД* буде значно меншим ніж напруга від інформативних імпульсів. Завдяки мультиплексору *М* сформовані й відфільтровані електричні сигнали поступають до входу обчислювального блоку *ВБ*, де виконується розрахунок значення температури або за методом спектрального відношення або взаємнокореляційним методом [7, 8].

1.5 Мета й задачі дослідження магістерської роботи

Основна мета цієї кваліфікаційної роботи магістра полягає в розробці та дослідженні електронної системи безперервного неруйнівного вимірювального контролю температури коксової батареї, що дозволить оперативно в режимі реального часу корегувати характеристики й параметри технологічного процесу виготовлення коксу, а також обґрунтувати шляхи із підвищення ефективності коксохімічного виробництва.

Задля досягнення поставленої і обґрунтованої основної мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- критично проаналізувати відомі методи та засоби безконтактного

неруйнівного вимірювального контролю температури в умовах коксохімічних підприємств;

- синтезувати структурно-алгоритмічну організацію оптико-електронної системи вимірювання температури коксової батареї;

- поставити вимоги до елементної бази електронної системи вимірювання температури коксової батареї;

- обґрунтувати алгоритмічне забезпечення щодо розширення функціональних можливостей класичних електронних вимірювачів температури коксової батареї;

- виконати оцінку й розрахунок основних показників охорони праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на відповідному виробництві.

1.6 Висновки

У даному розділі було проведено дослідження на предмет критичного аналізу технічних і функціональних характеристик коксових батарей, що дозволило встановити сукупність базових методів і засобів вимірювальної техніки, які можуть бути використані під час проведення досліджень із розробки електронної системи вимірювального контролю температури коксових печей.

2 СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНА ОРГАНІЗАЦІЮ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОКСОВОЇ БАТАРЕЇ

2.1 Загальні вимоги до структури електронної системи контролю температури коксових батарей

З метою розробки неруйнівного безконтактного електронного вимірювача температури коксової батареї необхідним та безальтернативним є використання оптико-електронних компонент засобів інформаційно-вимірювальної техніки. Принцип дії в загальному випадку таких електронних систем полягає в тому, що в залежності від температури розігрітого об'єкта пропорційно змінюється енергетична яскравість оптичного випромінювання. В якості еталону використовується абсолютне чорне тіло (АЧТ). Щільність оптичного потоку випромінювання від АЧТ є максимально можливою, саме тому від реального розігрітого об'єкта щільність потоку менша ніж від АЧТ.

Для того, щоб виконати кількісне порівняння характеристик реальних тіл з еталонною моделлю АЧТ використовується показник ступеня чорноти (ε). Цей показник визначається як відношення енергетичної яскравості реального випромінюючого тіла до яскравості абсолютно чорного тіла (АЧТ) за однакових значень температури тіл. Значення показника (ε), що обумовлений ступенем чорноти залежить від багатьох факторів, основними з яких є: фізико-хімічний стан поверхні тіла, яке випромінює (забрудненість, наявність оксидів, шорсткість); динаміка температури; динамічний діапазон довжин хвиль оптичного випромінювання. В результаті проведеного аналізу відомих залежностей було встановлено, що більшість із них може бути врахована лише з використанням емпіричних залежностей. До використання системи вимірювального контролю температури коксової батареї необхідно на першому етапі визначити ступінь чорноти реального об'єкта відносно теоретичного АЧТ. Чисельно значення цього відношення оцінюється наступним чином:

1. Реалізується вимірювання температури контактними методами та засобами з максимально можливими метрологічними характеристиками.

2. Вимірюється температура безконтактним неруйнівним оптико-електронним засобом, що досліджується в роботі.

3. На підставі результатів вимірювання виконується оцінка та налаштування коефіцієнту, який визначає ступінь чорноти реального об'єкту.

4. У випадку, коли температура об'єкта становить до 250 °С, виконується наклеювання на його поверхню стрічки чорного кольору. Після цього виконується вимірювання температури цієї стрічки, під час встановлення коефіцієнта чорноти, величина якого дорівнює 0,95. Далі стрічка знімається та виконується повторне вимірювання температури тієї ж самої ділянки.

Структурну схему розроблюваної електронної системи на базі вищенаведених фізичних принципів вимірювання температури коксової батареї приведено на рисунку 2.1, де введено позначення: 1 – лінза; 2 – радіатори; 3 – елементи Пельтьє, що охолоджують; 4 – $\Phi_{OC}(T)$ потік випромінювання, який пройшов оптичну лінзу; 5 – діафрагма; 6 – корпус з термостатованим сенсором; 7 – $I_{\Phi D}(T)$ струмовий сигнал фотоприймального пристрою, значення якого пропорційне вимірюваній температурі; 8 – фотоприймальний пристрій; 9 – перетворювач струм – напруга фотоприймача; 10 – термічна ізоляція; 11 – сенсор температури; 12 – термостатуючий пристрій; 13 – нагрівальний елемент; НП – нормуючий перетворювач; КВТ – вимірювальний канал температури корпусу електронної системи; ПВЗ – пристрій вибірки-зберігання; АК – аналоговий комутатор сигналів; МТК – модуль корпусу, що термостатує; МТЧЕ – модуль чутливого елементу сенсора, що термостатує; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ПОН – високостабільне джерело опорної напруги, що має можливість прецизійного налаштування; МПС – мікропроцесорна підсистема; СВІ – підсистема вводу даних (інформації); СІ – підсистема індикації вимірювальної інформації; СПІ – система передачі інформації; ПК – персональний комп'ютер.

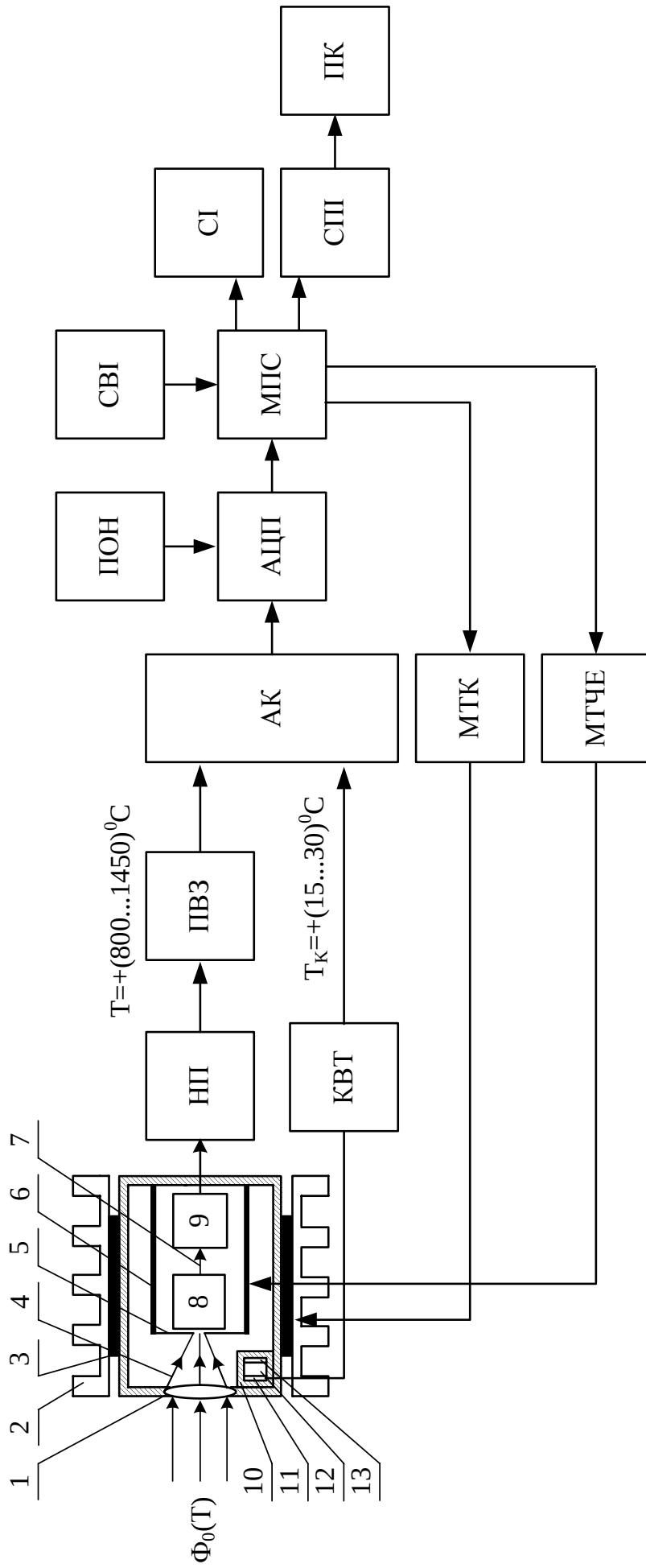


Рисунок 2.1 – Структурна схема електронної системи вимірювального контролю температури коксової батареї

До входу оптичної підсистеми (1) поступає оптичний потік випромінювання $\Phi_0(T)$ від об'єкта, що підлягає вимірювальному контролю. Під час вирішення практичних задач на сьогоднішній день використовуються два типи систем фокусування, а саме: дзеркальні та лінзові. Основною перевагою дзеркальних систем відносно лінзових є менше значення поглинаючої здатності оптичного випромінювання. Основним недоліком дзеркальних систем є те, що вони мають великий радіус розсіювання випромінювання. Такі системи використовують тільки під час вирішення задач із незначним геометричним діапазоном. При використанні систем лінзового типу досягаються кращі показники фокусування, проте вони характеризуються більшими номіналами коефіцієнта поглинання оптичного випромінювання. У досліджуваній системі пропонується до використання лінзова підсистема фокусування оптичного випромінювання. В такому випадку в системі може використовуватись лише одна лінза, що характеризується величиною фокусної відстані до 40 мм.

2.2 Базове функціональне забезпечення електронної системи

Досліджувана електронна система вимірювального контролю температури складається з двох основних функціональних частин. У першій частині розміщено екрановану камеру, що оснащена теплоізоляцією. У цій камері розташована також оптична схема оптико-електронної системи. Друга частина системи розташовується в іншій камері, де розміщено електронні компоненти системи, до складу якої входять:

1. Блок електричного підсилення, перетворення аналогових сигналів до двійкового цифрового коду та первинної обробки.
2. Блок цифрової обробки результатів спостережень, який призначено для управління вузлом АЦП, аналоговими блоками системи, обробки даних, які представлено в двійковому цифровому вигляді; розв'язки ланцюгів персонального комп'ютера, передавання цифрових сигналів до ПК.

3. Блок температурної стабілізації, що підтримує температуру чутливого елемента в заданому діапазоні під час її відхилення від номінальної.

4. Блок температурної стабілізації корпусу, який реалізує термостабілізацію корпусу системи під час зміни температури довколишнього середовища.

Функції блоків 2 – 4 повністю реалізовано із використанням мікроконтролера Atmel AVR. Блок 1 має екран, що виконаний із мідного корпусу з товщиною стінки на рівні 1 мм.

Принцип роботи такої оптико-електронної системи, що розробляється і досліджується, є наступним:

1. На лінзу (1), що виконує фокусування сигналу, надходить оптичне випромінювання від фізичного об'єкту контролю. Для забезпечення потрібного значення геометричного дозволу лінза містить в своєму складі діафрагму (5) зі значенням внутрішнього діаметру 0,8 мм.

2. Фотоприймачем (8) здійснюється трансформація сигналу з оптичного потоку випромінювання до електричного струму $I_{\phi d}(T)$. Такий вихідний сигнал фотоприймача (8) підсилюється в блоці попереднього підсилювача (9). Отриманий вихідний сигнал після підсилення поступає на вхід нормуючого перетворювача (НП) за дротовою технологією із використанням екранованого кабелю. Значення амплітуди вхідного сигналу напруги дорівнює 5 мВ. На виході НП амплітуда вихідного сигналу підсилюється в 1000 разів до 5 В. Далі сигнал надходить на вхід багатоканального АЦП.

3. АЦП перетворює вхідний аналогового сигнал до цифрової форми у вигляді бінарної кодової комбінації. До АЦП також підключено прецизійне джерело високостабільної опорної напруги номіналом +5 В. Управління режимами роботи АЦП здійснюється від мікроконтролера.

4. МПС генерує сигнали керування АЦП та дозволяє приймання цифрової інформації від АЦП. Такий код далі фільтрується алгоритмічними засобами, обробляється та поступає до персонального комп'ютера (ПК) із використанням оптронної розв'язки.

5. Термічна стабілізація корпусу системи (6) здійснюється від термостата МТК. Регламентоване значення температури термічного статкування корпусу системи дорівнює $15,0 \pm 0,5$ °C. Задля охолодження корпусу системи використовується батарея послідовно з'єднаних елементів Пельтьє (3). Номінальне значення електричної потужності, що споживається елементами Пельтьє, складає до 5 Вт при струмі 1 А, а отже задля керування цією потужністю до складу досліджуваної системи входить підсилювач потужності, що з'єднаний з імпульсним перетворювачем.

Запуск досліджуваної оптико-електронної системи вимірювання температури здійснюється за таким алгоритмом:

- термостати чутливого елемента й корпусу системи мають бути попередньо відкалібровані, тільки після цього термостати дозволяється виводити до робочого режиму;

- блок обробки сигналів цифровими засобами виконує вимірювальний контроль параметрів режимів функціонування оптико-електронної системи та передає відповідну інформацію до ПК;

- у випадку, якщо номінальний режим роботи термостатів досягнуто, то оптико-електронна система реалізує процедури, що пов'язані з вимірювальним контролем температури печі;

- у процесі виконання вимірювань оптико-електронна система виконує автоматичне калібрування задля визначення та оперативного корегування параметрів поточного теплового стану пристрою приймання оптичного випромінювання;

- після завершення процедури калібрування виконується вимірювання параметрів оптичного випромінювання, що потім надходить до входу оптико-електронної системи;

- блоком цифрової обробки даних виконується опрацювання масивів двійкових даних, які потім поступають до персонального комп'ютера, після цього інформація виводиться на екран пульта диспетчера та записується до

енергонезалежної пам'яті й формується відповідна база правил, яка може бути використана при реалізації алгоритмів предиктивної діагностики.

До базових функцій, що реалізуються мікропроцесорним блоком відносяться:

- обчислення поточної й прогнозованої температури коксової батареї;
- виконання алгоритмів обробки й опрацювання вимірювальної інформації;
- оцінка значень коефіцієнтів чорноти, які залежать від типу та стану матеріалів стінок коксової батареї, введення відповідних поправок до результатів вимірювань;
- передача на підсистему індикації (CI) інформації відносно динаміки температури коксової батареї за встановлений проміжок часу;
- організація зв'язку із ПК через СПІ.

2.3 Висновки

У даному розділі магістерської роботи було проведено дослідження з обґрунтування структурно-алгоритмічної організації оптико-електронної системи вимірювання температури коксової батареї, що дозволило синтезувати сукупність вимог для проведення подальших досліджень із апаратно-програмної реалізації цієї електронної системи.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОКСОВОЇ БАТАРЕЇ

3.1 Оцінка й аналіз параметрів вихідного кола фотоприймального пристрою

Основні вимоги до вимірювального каналу температури досліджуваної електронної системи:

- діапазон струму фотодіода $I_{\Phi Д}$, мА від 0,143 до 1,069;
- діапазон вихідної напруги U_{AIN} , В від 0 до +5,0;
- вихідний електричний опір ВК $R_{ВИХ}$, кОм 2;
- робочий діапазон температур T , °С від 0 до + 40.

Основні вимоги до фотоприймача електронної системи:

- динамічний діапазон довжин хвиль $\Delta\lambda$, мкм від 0,5 до 1,1;
- динамічний діапазон довжин хвиль максимуму випромінювання λ_{max} , мкм від 0,8 до 0,9;
- граничний темновий електричний струм I_T , мкА 1;
- інтегральна чутливість за струмом, $S_{I_{int}}$, мА/Вт 6;
- гранична постійна часу τ , нс 20.

Під час побудови системи використано фотодіод типу ФД-9К, що працює в фотогальванічному режимі. Принципову схему включення такого фотодіода у фотогальванічному режимі представлено на рисунку 3.1 [9, 10].

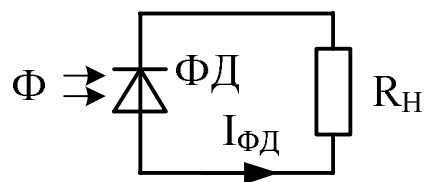


Рисунок 3.1 – Схема принципова включення фотодіода типу ФД-9К у фотогальванічному режимі функціонування

Можливий діапазон зміни струму ФД обчислюється:

$$\Delta I_{\text{вихФД}}(t) = I_{\text{вихФД}}(t = 1500^{\circ}\text{C}) - I_{\text{вихФД}}(t = 800^{\circ}\text{C}) = \\ = 1,069 - 0,143 = 0,926 \text{ мА.}$$

Якщо фотодіод працює у навантаженому режимі, як зображено на рисунку 3.1, то за відсутності освітлення в ланцюзі буде протікати темновий струм (I_T), який обумовлено неосновними носіями заряду. При подачі світла на чутливий елемент генерується струм під дією неосновних носіїв, що носить назву – фотострум I_ϕ та обчислюється за формулою:

$$I_\phi(t) = S_{\text{Сінт}} \cdot \Phi(t).$$

Під час роботи фотодіода у фотогальванічному режимі в ланцюзі виникає струм, який обчислюється наступним чином:

$$I_{\text{вихФД}} = I_T \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot U_R}{k \cdot T}\right) \right] - I_\phi(t),$$

де U_R – падіння напруги на навантаженні під час протікання струму в замкненому колі, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд електрона; $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – постійна Больцмана; $T = 273,15 + t, \text{К}$ – абсолютна температура об'єкта випромінювання.

Під час роботи фотодіода у фотогальванічному режимі напруга на р-п переході напівпровідника розраховується через силу струму. В ланцюзі навантаження протікає струм певне значення струму, якщо $R_H \rightarrow \infty$ (холостий хід), то струм у зовнішньому ланцюзі $I_H = 0$. Тобто замість параметра U_{R_H} у формулі для I_ϕ може бути використане значення напруги холостого ходу U_{XX} :

$$0 = I_T \cdot \left[\exp\left(\frac{e \cdot U_{xx}}{k \cdot T}\right) \right] - I_\phi(t).$$

З даного співвідношення може бути знайдена величина напругу холостого ходу:

$$U_{xx}(t) = \frac{k \cdot T}{e} \cdot \ln\left(\frac{I_\phi(t)}{I_T} + 1\right).$$

Таким чином, можливий діапазон зміни вихідного сигналу (напруги) підсилювача ФД обчислюється за формулою:

$$\begin{aligned} U_{\text{вих ФП}}(t) &= -I_\phi(t) \cdot (R_1 + R_2) = \\ &= -(I_\phi(t = 1500^\circ\text{C}) - I_\phi(t = 800^\circ\text{C})) \cdot (R_1 + R_2) = \\ &= -(1,069 - 0,143) \cdot 10^{-3} \cdot (1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3) = \\ &= -(2,138 - 0,286) = -1,853 \text{ В}. \end{aligned}$$

У вихідному колі аналогового каналу досліджуваної електронної системи діапазон зміни напруги становить:

$$U_{AIN}(t = 1500^\circ\text{C}) = 5,0 \text{ В};$$

$$U_{AIN}(t = 800^\circ\text{C}) = 0 \text{ В}.$$

Номінальний коефіцієнт передачі за напругою для аналогового блоку вимірювальної системи, що розробляється, обчислюється за формулою:

$$\begin{aligned} K_U &= \frac{U_{AIN}(t = 1500^\circ\text{C}) - U_{AIN}(t = 800^\circ\text{C})}{U_{\text{вих ФП}}(t = 1500^\circ\text{C}) - U_{\text{вих ФП}}(t = 800^\circ\text{C})} = \\ &= \frac{5,0 - 0}{-2,138 - (-0,286)} = -2,70. \end{aligned}$$

Для реалізації нормального режиму роботи підсилювача необхідно виконати зсув напруги, що еквівалентна та призначена для компенсації значення темнового струму ФД за знаком, як показано:

$$U_{\text{вих ФД min}}(t = 800^{\circ}\text{C}) = -I_{\phi}(t = 800^{\circ}\text{C}) \cdot (R_1 + R_2) = \\ = -0,143 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3) = -0,286 \text{ В.}$$

$$U_{3C} = (0,1 \dots 0,5) \text{ В.}$$

Функція, за якою може бути розрахована характеристика перетворення вимірювального каналу температури досліджуваної електронної системи, є наступною:

$$I_{\phi\text{Д}}(t) = k \cdot t, \quad k = \frac{\Delta I_{\phi\text{Д}}(t)}{\Delta t} = \frac{1,069 - 0,143}{1500 - 800} = 1,32 \text{ мкА/}^{\circ}\text{C}.$$

де $k = 1,32 \text{ мкА/}^{\circ}\text{C}$ – чутливість схеми за струмом; Δt – діапазон зміни температури, $^{\circ}\text{C}$.

3.2 Постановка вимог до попереднього підсилювача електронної системи

Основні технічні вимоги до попереднього підсилювача електронної системи полягають у наступному:

– допустимий діапазон зміни вхідного струму

$$I_{\phi\text{Д}}, \text{мА} \quad \text{від } 0,143 \text{ до } 1,069;$$

– допустимий діапазон зміни вихідної напруги

$$U_{\text{вих ФД}}, \text{В} \quad \text{від } -2,138 \text{ до } -0,286;$$

– мінімальний вхідний опір ОППС

$$R_{\text{ВХ ОП}}, \text{МОм} \quad 10^4;$$

– робочий температурний діапазон T , $^{\circ}\text{C}$

$$\text{від } 0 \text{ до } 40.$$

На рисунку 3.2 приведена схема принципова розробленого попереднього підсилювача досліджуваної електронної системи [9 – 14]. У такому попередньому підсилювачі електронної системи використано операційні підсилювачі постійного струму, що мають високий вхідний опір, DA₁ типа AD821ANJ, який має наступні техніко-функціональні характеристики [15]:

– вхідний струм, I_{BX} , пА	15;
– різницевий вхідних струмів ΔI_{BX} , пА	5;
– дрейфова складова різниці вхідних струмів $\Delta I_{BX} / \Delta T$, пА/°C	1;
– вхідний опір, R_{BX} , МОм	10^4 ;
– напруга зміщення нуля U_{3C} , мВ	0,35;
– дрейфова складова напруги зсуву $\Delta U_{3C} / \Delta T$, мкВ/°C	1;
– номінальний коефіцієнт підсилення за напругою K_U	10^6 ;
– коефіцієнт погашення синфазної складової вхідної напруги $K_{OC.C\Phi}$, дБ	120;
– мінімальний допустимий опір навантаження R_{Hmin} , кОм	2;
– максимальний допустимий струм через навантаження I_{Hmax} , мА	5;
– максимальна допустима вихідна напруга $U_{BIX max}$, В	$\pm U_{ж}$;
– максимальна допустима синфазна вхідна напруга $U_{C\Phi BX max}$, В	$\pm U_{ж}$;
– діапазон допустимої напруги живлення $U_{ж}$, В	від ± 5 до ± 24 ;
– номінальний струм споживання $I_{СП}$, мА	3,5.

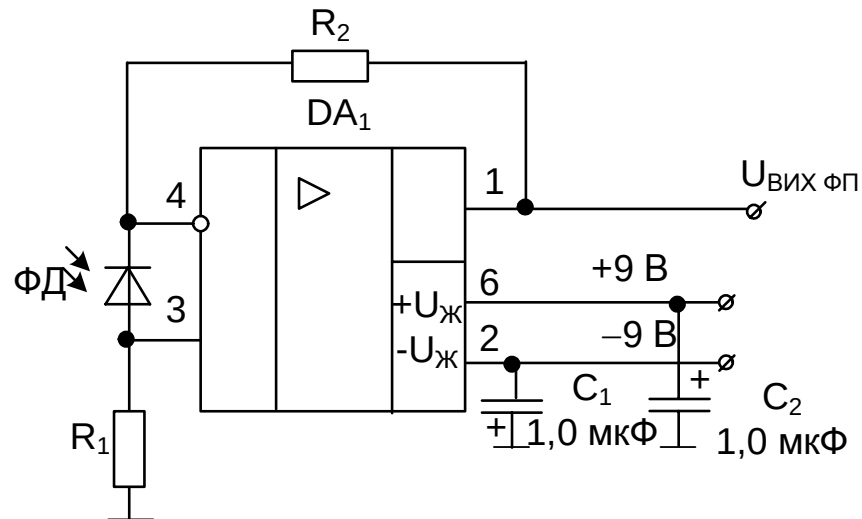


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова попереднього підсилювача електронної системи, що розробляється

Динамічний діапазон зміни вихідного сигналу підсилювача ФП може бути обчислений на підставі наступного виразу:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{вих ФП}}(\Delta t) &= -I_{\phi}(\Delta t) \cdot (R_1 + R_2) = \\
 &= -\left(I_{\phi}(t = 1500^{\circ}\text{C}) - I_{\phi}(t = 800^{\circ}\text{C})\right) \cdot (R_1 + R_2) = \\
 &= -(1,069 - 0,143) \cdot 10^{-3} \cdot (1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3) = \\
 &= -(2,138 - 0,286) = -1,852 \text{ В.}
 \end{aligned}$$

У процесі розрахунку номінальних параметрів розроблюваного попереднього підсилювача на базі мікросхеми AD821ANJ прийнято наступні номінали опорів резисторів по входу і в ланцюзі зворотного зв'язку $R_1 = R_2 = 1 \text{ кОм}$. Визначена розсіювана потужність на резисторах R_1 і R_2 з обліком номінального струму ФД дорівнює:

$$P_{R_1} = P_{R_2} = (I_{\phi D})^2 \cdot R_1 = (1,069 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1 \cdot 10^3 = 1,14 \text{ мВт.}$$

Отже в якості типів резисторів можуть бути прийняті наступні:
 $R_1 = R_2 : \text{smd-0805-0,125 Вт-1 кОм} \pm 0,1\%$.

Мінімальна і максимальна напруга на виході ФП обчислюється за формулою:

$$U_{\text{ВИХ ФП max}}(t = 1500^\circ\text{C}) = -I_{\text{ФД}}(t = 1500^\circ\text{C}) \cdot (R_1 + R_2) = \\ = -1,069 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3) = -2,138 \text{ В};$$

$$U_{\text{ВИХ ФП min}}(t = 800^\circ\text{C}) = -I_{\text{ФД}}(t = 800^\circ\text{C}) \cdot (R_1 + R_2) = \\ = -0,143 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3) = -0,286 \text{ В}.$$

Динамічний діапазон зміни напруги на виході попереднього підсилювача розроблюваної електронної системи може бути обчислений:

$$\Delta U_{\text{ВИХ ФП}} = U_{\text{ВИХ ФП max}} - U_{\text{ВИХ ФП min}} = -2,138 - (-0,286) = -1,852 \text{ В}.$$

Номінальне значення коефіцієнта перетворення струм – напруга розробленого попереднього підсилювача системи визначається наступним чином:

$$K_{I \rightarrow U} = \frac{\Delta U_{\text{ВИХ ФП}}}{\Delta I_{\text{Ф}}(\Delta t)} = \frac{U_{\text{ВИХ ФП max}} - U_{\text{ВИХ ФП min}}}{I_{\text{Ф}}(t = 1500^\circ\text{C}) - I_{\text{Ф}}(t = 800^\circ\text{C})} = \\ = \frac{-2,138 - (-0,286)}{(1,069 - 0,143) \cdot 10^{-3}} = 2,0 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

В якості конденсаторів обрано наступні моделі: $C_1 = C_2$ типу КМ-6-1,0 мкФ $\pm 5\%$ х 12 В.

Значення величина напруги похибки на виході мікросхеми DA₁ обчислюється за формулою:

$$U_{3C}(T \pm \Delta T = (20 \pm 20)^\circ\text{C}) = (U_{3C\text{ ОП}}(\Delta T) + \Delta I(\Delta T) \cdot R_1) \cdot \Delta T = \\ = (1 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^3) \cdot 20 = 20,02 \cdot 10^{-6} \text{ В} = 20,02 \text{ мкВ}.$$

Похибка, що вноситься попереднім підсилювачем електронної системи, значення якої обумовлене температурним дрейфом, яке приведене до входу досліджуваного вимірювального каналу температури дорівнює:

$$\Delta_{\Phi\P}^{\Delta T} = \frac{U_{3C}(T \pm \Delta T)}{K_{I \rightarrow U} \cdot k} = \frac{20,02 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^3 \cdot 1,32 \cdot 10^{-6}} = 0,076 \approx 0,8 \text{ \%}.$$

3.3 Постановка вимог до нормуючого підсилювача електронної системи

Сукупність загальних вимог до розроблюваного нормуючого підсилювача електронної системи:

– динамічний діапазон вхідної напруги

$U_{\text{вх НП}}, \text{В}$ від $-0,286$ до $-2,138$;

– динамічний діапазон вихідної напруги

$U_{\text{вих НП}}, \text{В}$ від 0 до $5,0$;

– номінальний коефіцієнт підсилення напруги

K_U $-2,7$;

– номінальний вхідний опір НП $R_{\text{вх НП}}, \text{кОм}$

10 ;

– робочий температурний діапазон

$T, ^\circ\text{C}$ від 0 до 40 .

На рисунку 3.3 представлено розроблену схему електричну принципову нормуючого підсилювача електронної системи із використанням відомих апробованих схемотехнічних рішень [9 – 14].

Номінал резистора прийнято рівним $R_3 = R_{\text{Н ФП}} = 10 \text{ кОм}$ (опори навантаження попереднього підсилювача). Номінальне значення опоры ланцюга

зворотного зв'язку НП розраховується на базі необхідного значення коефіцієнта передачі схеми за формулою:

$$R_5 + R_7 = R_3 \cdot K_{U \text{ НП}} = 10 \cdot 2,7 = 27,0 \text{ кОм.}$$

Обираємо наступний номінал резистора $R_5 = 24 \text{ кОм.}$

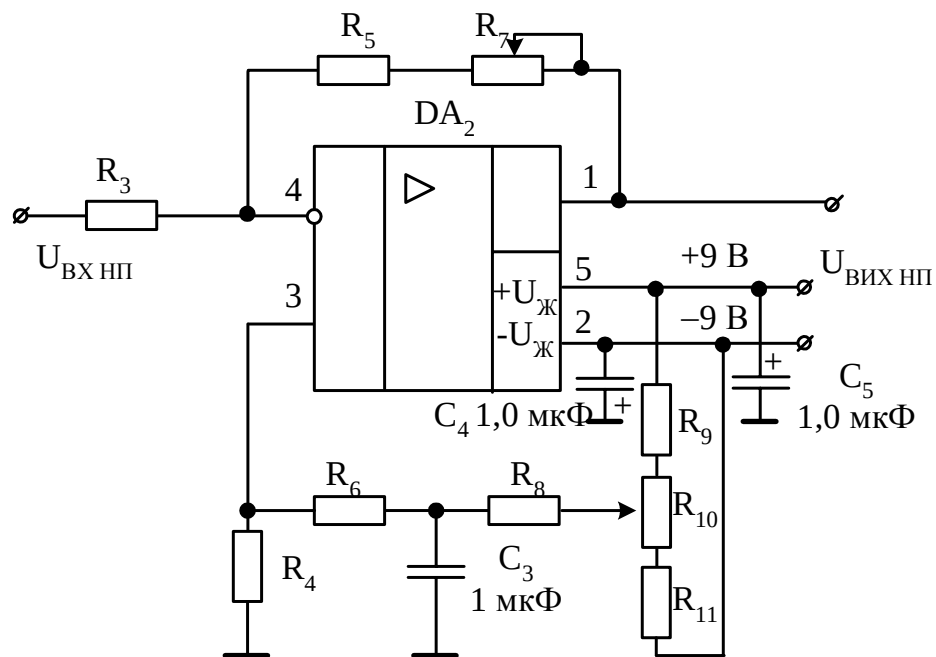


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова нормуючого підсилювача досліджуваної електронної системи

У складі наведеної схемотехнічної реалізації нормуючого підсилювача використано змінний резистор, що виконує функцію налаштування коефіцієнта передачі схеми за напругою:

$$R_7 = 2 \cdot ((R_5 + R_7) - R_5) = 2 \cdot (27 - 24) = 6,0 \text{ кОм.}$$

Номінальне значення опору цього змінного резистора має дорівнювати $R_7 = 6,2 \text{ кОм.}$ Такий нормуючий підсилювач електронної системи має

наступний діапазон варіювання коефіцієнта підсилення напруги:

$$K_{U_{III \min}} = -\frac{R_5}{R_3} = -\frac{24}{10} = -2,4;$$

$$K_{U_{III \max}} = -\frac{R_5 + R_7}{R_3} = \frac{24 + 6,2}{10} = -3,0.$$

Вхід ОППС, що не інвертує, підключено до загальної шини схеми через резистор R_4 . Використання цього резистора обґрунтовує забезпечення компенсації напруги зсуву нуля операційного підсилювача, що обумовлено різницею вхідних струмів схеми. Опір цього резистора R_4 обчислюється через паралельне з'єднання резисторів $R_5 + R_7$ та R_3 за формулою:

$$R_4 = \frac{R_3 \cdot \left(R_5 + \frac{R_7}{2}\right)}{R_3 + \left(R_5 + \frac{R_7}{2}\right)} = \frac{10 \cdot \left(24 + \frac{6,2}{2}\right)}{10 + 24 + \frac{6,2}{2}} = 8,1 \text{ кОм}.$$

Номінал опору резистора обрано рівним $R_4 = 8,2 \text{ кОм}$.

Потужність, що розсіюється, на резисторі R_3 обчислюється за формулою:

$$P_{R_3} = \frac{(U_{BX_{III}})^2}{R_3} = \frac{2,138^2}{10 \cdot 10^3} = 0,46 \text{ мВт}.$$

Виходячи з цього обрано резистор R_3 типу: smd-0805-0,125 Вт – 10 кОм $\pm$ 0,1%.

За аналогією розраховується потужність, що розсіюється, на резисторі R_4 за формулою:

$$P_{R_4} = \frac{(U_{BX\ HV})^2}{R_4} = \frac{2,138^2}{8,2 \cdot 10^3} = 0,56 \text{ мВт.}$$

Отже, обираємо резистор R_4 наступного типу: smd-0805-0,125 Вт-8,2 кОм $\pm$ 0,1 %.

Аналогічно потужність, що розсіюється, на резисторі R_5 визначається:

$$P_{R_5} = \frac{(U_{ВЛХ\ НП})^2}{R_5} = \frac{5,0^2}{24 \cdot 10^3} = 1,04 \text{ мВт.}$$

Обираємо тип резистора R_5 наступним: smd-0805-0,125 Вт-24кОм $\pm$ 0,1 %.

Також потужність, що розсіюється, на резисторі R_7 обчислюється:

$$P_{R_7} = \frac{(U_{ВЛХ\ НП})^2}{R_7} = \frac{5,0^2}{6,2 \cdot 10^3} = 4,03 \text{ мВт.}$$

Обираємо номінал резистора R_7 таким: 3329H-15 кОм $\pm$ 10 %.

На вхід операційного підсилювача, що не інвертує, також подається напруга зсуву, що призначена для компенсації темнового струму ФД, як показано на рисунку 3.4:

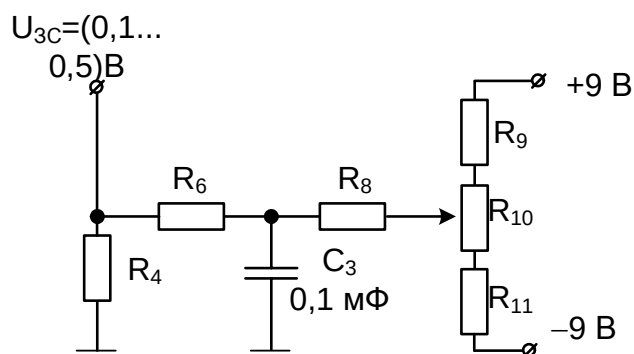


Рисунок 3.4 – Принципова схема для встановлення нуля

$$U_{\text{вих ФП min}}(t = 800^{\circ}\text{C}) = -I_{\phi}(t = 800^{\circ}\text{C}) \cdot (R_1 + R_2) = \\ = -0,143 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3) = -0,286 \text{ В.}$$

$$U_{3C} = (0,1 \dots 0,5) \text{ В.}$$

Резистивний пасивний дільник напруги побудовано на базі елементів R_4, R_6, R_8 , коефіцієнт ділення якого може бути обчислений за формулою:

$$K_D = \frac{R_4}{R_4 + R_6 + R_8}.$$

Під час розрахунку прийнято значення величини коефіцієнту ділення $K_D = 0,2$, а отже, падіння напруги на змінному резисторі R_{10} обчислюється:

$$U_{R_{10}} = \frac{\Delta U_{3C}}{K_D} = \frac{(0,5 - 0,1)}{0,2} = \frac{0,4}{0,2} = 2 \text{ В.}$$

Якщо прийняти номінальну величину струму дільника $I_D = 0,1 \text{ мА}$, що реалізується на резисторах $R_9 - R_{11}$, то значення опору резистора R_{10} рівне:

$$R_{10} = \frac{U_{R_{10}}}{I_D} = \frac{2}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 20 \text{ кОм.}$$

Розсіювана потужність на цьому резисторі R_{10} :

$$P_{R_{10}} = (I_D)^2 \cdot R_{80} = (0,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 20 \cdot 10^3 = 0,2 \text{ мВт.}$$

Обираємо тип R_{10} наступним: 3329H-20 кОм $\pm$ 10 %.

Розрахунок значення падіння напруги на резисторі R_{11} виконано за формулою:

$$U_{R_{11}} = \frac{U_{3C\min}}{K_D} = \frac{0,1}{0,2} = 0,5 \text{ В.}$$

Значення опору резистора R_{11} обчислюється наступним чином:

$$R_{11} = \frac{U_{R_{11}}}{I_D} = \frac{0,5}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 5 \text{ кОм.}$$

Номінальне значення опору резистора $R_{11} = 5,1 \text{ кОм.}$

Розсіювана потужність на резисторі R_{11} обчислена:

$$P_{R_{11}} = (I_D)^2 \cdot R_{11} = (0,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 5,1 \cdot 10^3 = 0,05 \text{ мВт.}$$

Обираємо резистор R_{11} наступної моделі: R_{11} : smd-0805-0,125 Вт-5,1 кОм $\pm$ 0,1 %.

Номінальне значення опору резистора R_9 розраховано за формулою:

$$R_9 = \frac{2 \cdot U_{Ж}}{I_D} - (R_{10} + R_{11}) = \frac{2 \cdot 9}{0,1 \cdot 10^{-3}} - (20 + 5,1) \cdot 10^3 = 154,9 \text{ кОм.}$$

Таким чином, доцільно резистор R_9 реалізувати із двох послідовних, $R'_9 = 150 \text{ кОм}$ та $R''_9 = 4,9 \text{ кОм}$. Отже, потужність, що розсіюється, на цих резисторах R'_9 , R''_9 дорівнює відповідно:

$$P_{R'_9} = (I_D)^2 \cdot R'_9 = (0,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 150 \cdot 10^3 = 1,5 \text{ мВт.}$$

$$P_{R''_9} = (I_D)^2 \cdot R''_9 = (0,1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4,7 \cdot 10^3 = 0,05 \text{ мВт.}$$

Обираємо наступні резистори R'_9 : smd-0805-0,125 Вт-150 кОм $\pm$ 0,1 %.

R''_9 : smd-0805-0,125 Вт-4,7 кОм $\pm$ 0,1 %.

Номинальні значення опорів $R_6 + R_8 \gg R_9 + R_{10} = 174,7 \text{ кОм}$, а отже:

$$R_6 + R_8 = 1 \text{ МОм}, \text{ якщо } R_6 = R_8 = 499 \text{ кОм.}$$

Обираємо резистори $R_6 = R_8$ наступного типу:
smd-0805-0,125 Вт-499 кОм $\pm$ 0,1 %.

Обираємо конденсатори наступних моделей C_3 :
КМ-6-1,0 мкФ $\pm$ 5 % х 25В, $C_4 = C_5$: КМ-6-1,0 мкФ $\pm$ 5 % х 25В.

Номинальне значення напруги похибки на виході операційного підсилювач DA₂, що обумовлено температурною нестабільністю:

$$U_{3C}(T \pm \Delta T = (20 \pm 20)^\circ\text{C}) = \left(U_{3C \text{ оп}}(\Delta T) \cdot \left(1 + \frac{R_5 + \frac{R_7}{2}}{R_3} \right) + \Delta I(\Delta T) \cdot R_3 \right) \cdot \Delta T =$$

$$= \left(1 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + \frac{24 + \frac{6,2}{2}}{10} \right) + 1 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot 10^3 \right) \cdot 20 = 0,074 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 0,07 \text{ мВ.}$$

Значення температурної похибки нормуючого підсилювача (НП), що визначається дрейфом вихідного сигналу від нестабільності температури електронних компонент системи, що приведене до входу вимірювального каналу електронної системи:

$$\Delta_{\text{НП}}^{\Delta T} = \frac{U_{\text{ЗС}}(T \pm \Delta T)}{K_{I \rightarrow U} \cdot K_U \cdot k} = \frac{74,0 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^3 \cdot 2,7 \cdot 1,32 \cdot 10^{-6}} = 0,010 \approx 1,0 \, \%.$$

Приведене до входу системи значення сумарної похибки обчислено за наступною формулою:

$$\Delta^{\Delta T} = 1,1 \cdot \sqrt{(\Delta_{\text{ФП}}^{\Delta T})^2 + (\Delta_{\text{НП}}^{\Delta T})^2} = 1,1 \cdot \sqrt{0,8^2 + 1,0^2} = 1,4 \, \%.$$

Розроблену схему електричну принципову аналогового блоку вимірювального каналу температури досліджуваної електронної системи наведено на рисунку 3.5.

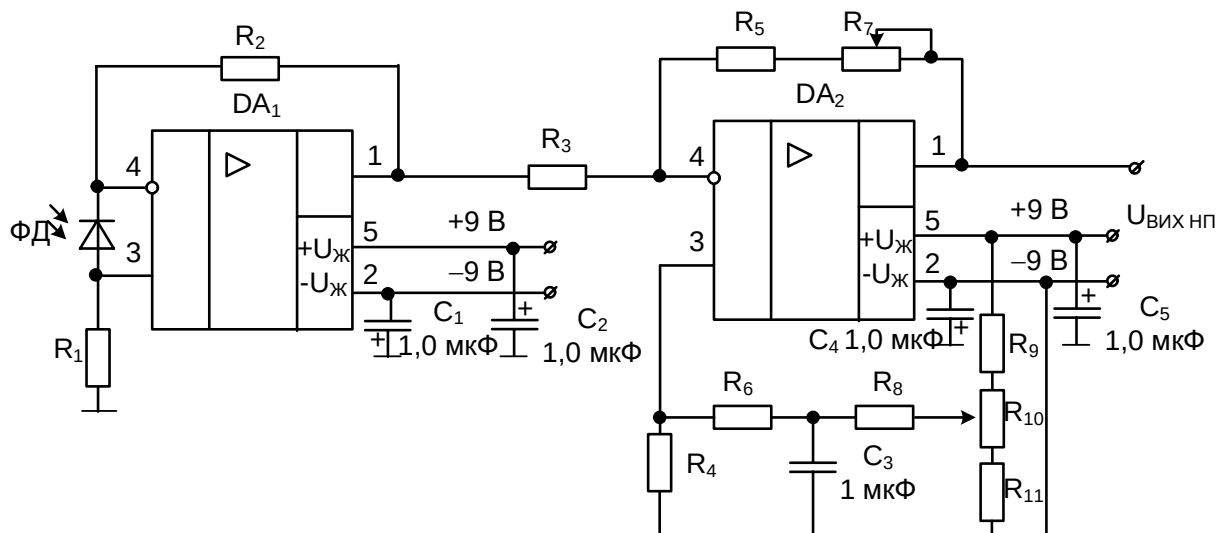


Рисунок 3.5 – Схема електрична принципова аналогового блоку вимірювального каналу температури досліджуваної електронної системи

3.4 Висновки

У цьому розділі кваліфікаційної роботи магістра було виконано розрахунку основних параметрів компонент системи, що дозволило обґрунтувати ряд актуальних вимог до елементної бази електронної системи вимірювання температури коксової батареї.

4 ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЩОДО РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ КЛАСИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВИМІРЮВАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ КОКСОВОЇ БАТАРЕЇ

4.1 Апаратно-програмні компоненти моделі

В основу мікропроцесорного блоку досліджуваної системи покладено промислові контролери сімейства Siemens S7-300 [17], який конструктивно і функціонально поєднано зі станцією віддаленого введення / виведення інформації ET200M. Зовнішній вигляд такої системи наведено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд апаратного з'єднання Siemens S7-300 і ET200M

За рахунок використання такої контролерної підсистеми у складі досліджуваної електронної системи може бути розширений перелік базових

функцій, а саме:

- безперервний моніторинг технологічних параметрів і контроль їх виходу за граничні межі;
- моніторинг стану і режимів роботи технологічного обладнання;
- контроль дій оператора;
- архівування вимірювальної інформації.
- управління режимами роботи печі відповідно до технологічних алгоритмів;
- дистанційне керування привідними механізмами;
- функція теплових захистів і блокувань;
- автоматичне регулювання основних технологічних параметрів і процесів;
- операторський контроль і управління технологічним процесом;
- реєстрація основних параметрів технологічного процесу;
- забезпечення взаємодії з верхнім рівнем.

З обліком сучасних тенденцій розвитку програмного забезпечення електронних систем опрацювання результатів вимірювального моніторингу виконується на базі спеціалізованих серверів хмарних обчислень таких, як програмний продукт ThingSpeak™ IoT analytics, який інтегровано з Matlab & Simulink, як показано на рисунку 4.2.

ThingSpeak IoT Analytics – це хмарний обчислювальний сервіс для розробки проектів, які будуються на основі сучасних концепцій інтернету речей та бездротових сенсорних мереж. Цей обчислювальний сервіс дозволяє проектувальникам реалізувати алгоритми обчислень різного рівня складності з обліком вимог предиктивної діагностики стану технологічного обладнання за результатами вимірювань, які надходять від розподілених сенсорів, що знаходяться віддалено від місць збору та інтелектуальної обробки даних.

До основних можливостей ThingSpeak IoT Analytics можна віднести: агрегація даних у режимі реального часу, інтелектуалізована обробка даних, прогнозування динаміки і їх графічна інтерпретація. ThingSpeak API дозволяє

не тільки відправляти, трансформувати, архівувати та отримувати доступ до розподілених даних, але й надає можливості до різних статистичних методів їх обробки та аналізу.

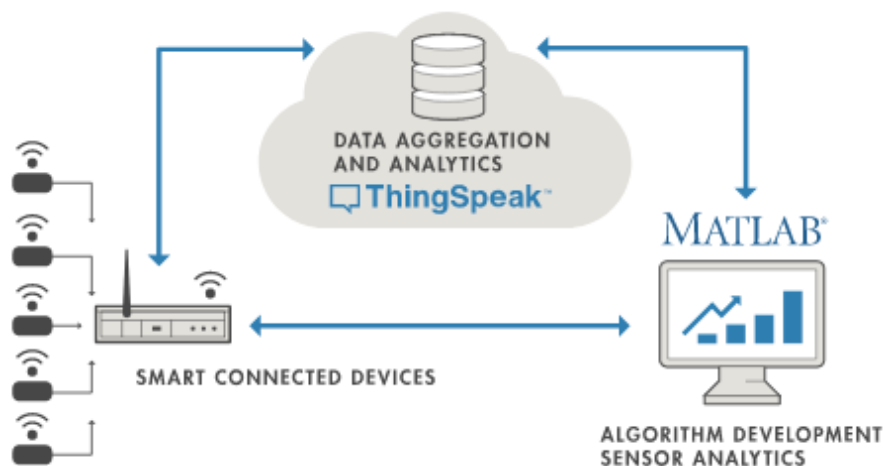


Рисунок 4.2 – Схема обміну даними

4.2 Імітаційна модель електронної системи вимірювання температури

Під час моделювання режимів роботи вимірювача температури було створено імітаційну модель із використанням програмних засобів Matlab Simulink та апаратної мікропроцесорної платформи для порівняння режимів роботи П- та ПІ- регуляторів температури, які знайшли найбільшого використання для контролю температури в коксохімічній промисловості [18 – 20], як показано на рисунках 4.3 – 4.6.

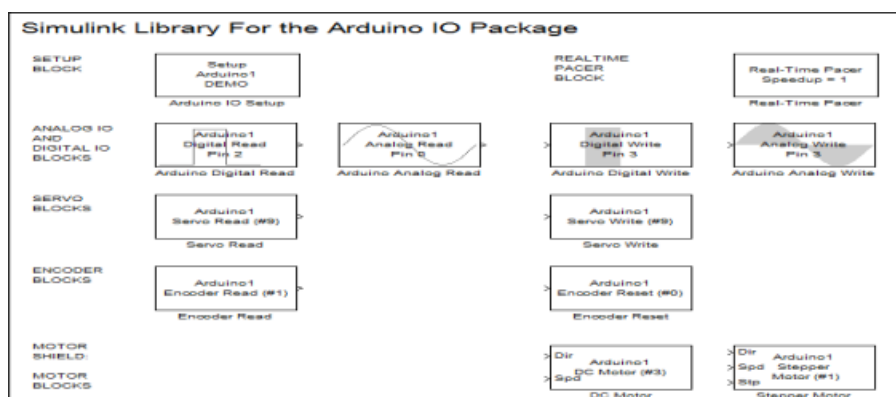


Рисунок 4.3 – Вікно Arduino-library у ППП Simulink

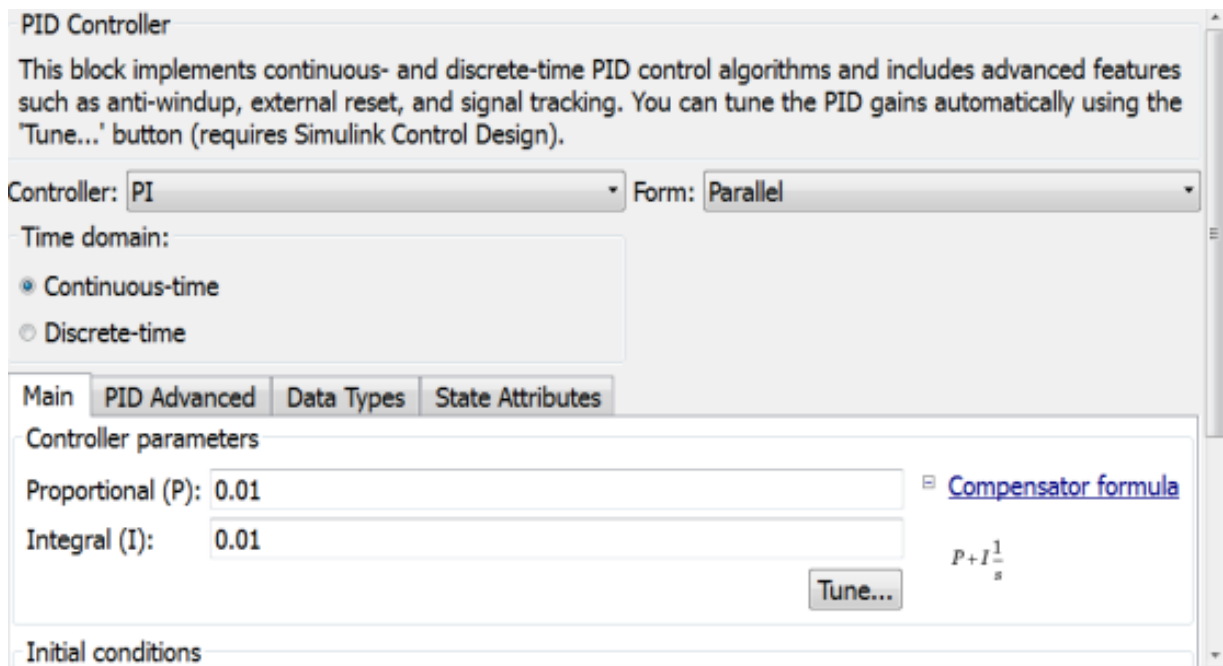


Рисунок 4.4 – Вікно для введення налаштувань контролера в ППП Simulink

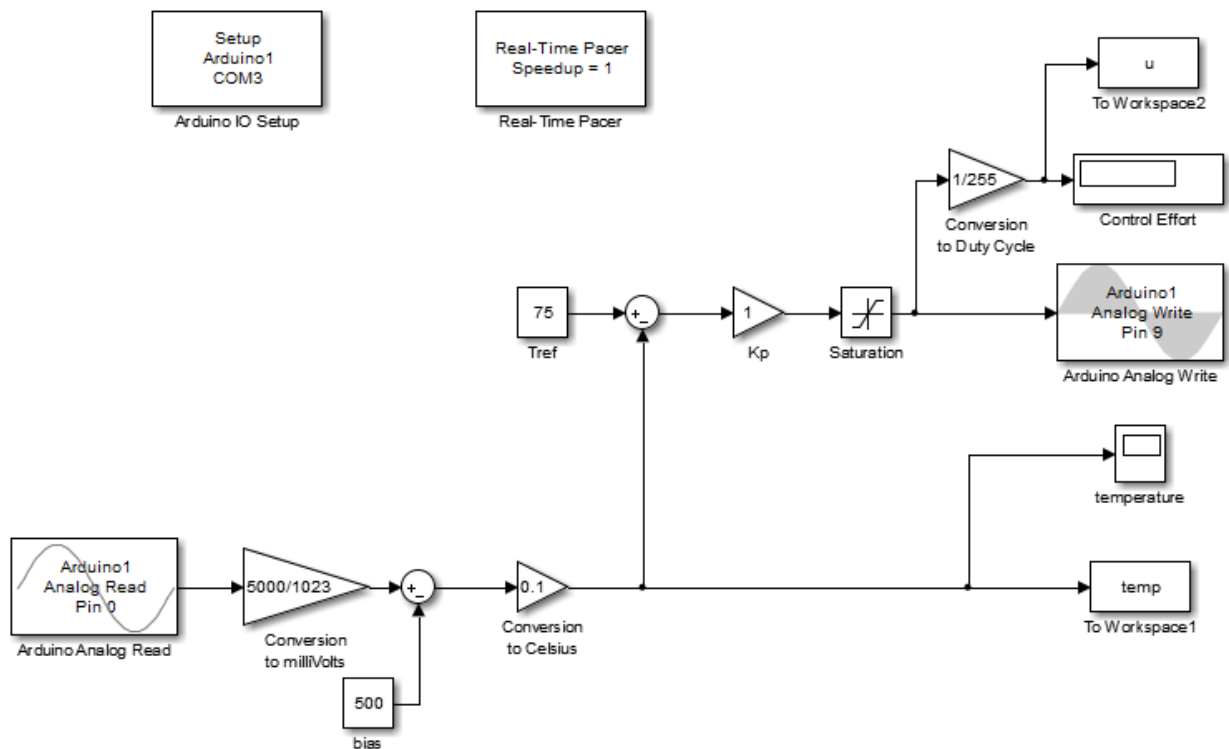


Рисунок 4.5 – Модель мікропроцесорного контролю температури в ППП Simulink із використанням П-регулятора

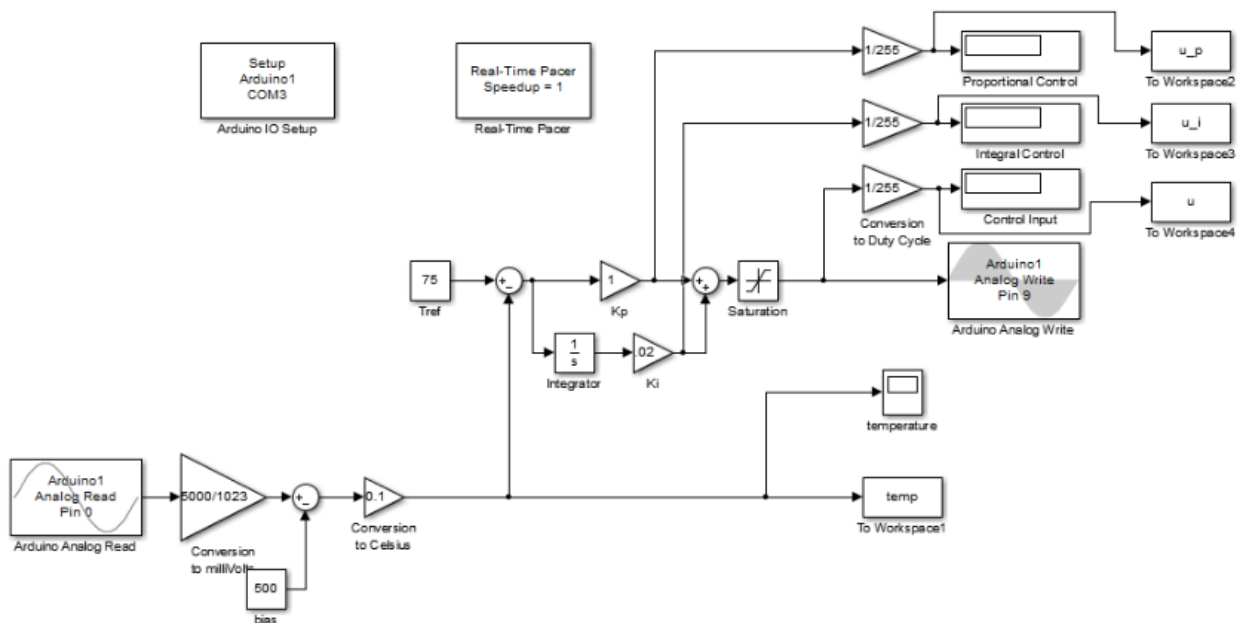


Рисунок 4.6 – Модель мікропроцесорного контролю температури в ППІ Simulink із використанням ПІ-регулятора

Результати моделювання часового зростання залежності температури із використанням вищезаявлених законів регулювання наведено на рисунках 4.7 і 4.8.

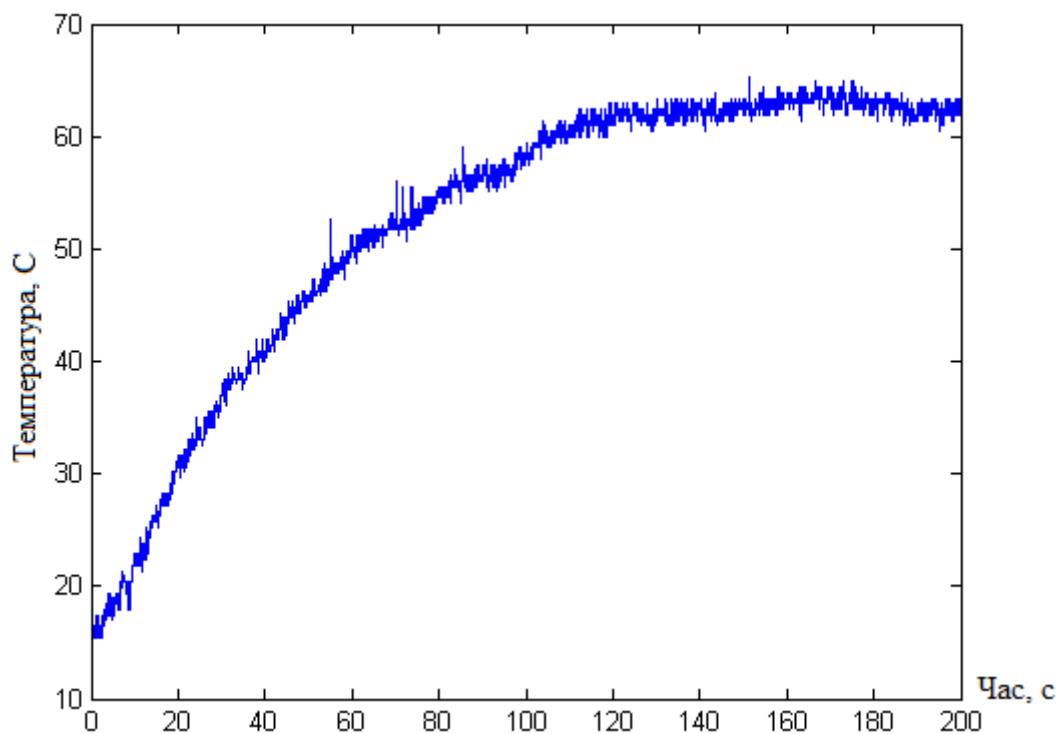


Рисунок 4.7 – Результати моделювання динаміки температури із використанням ПІ-регулятора

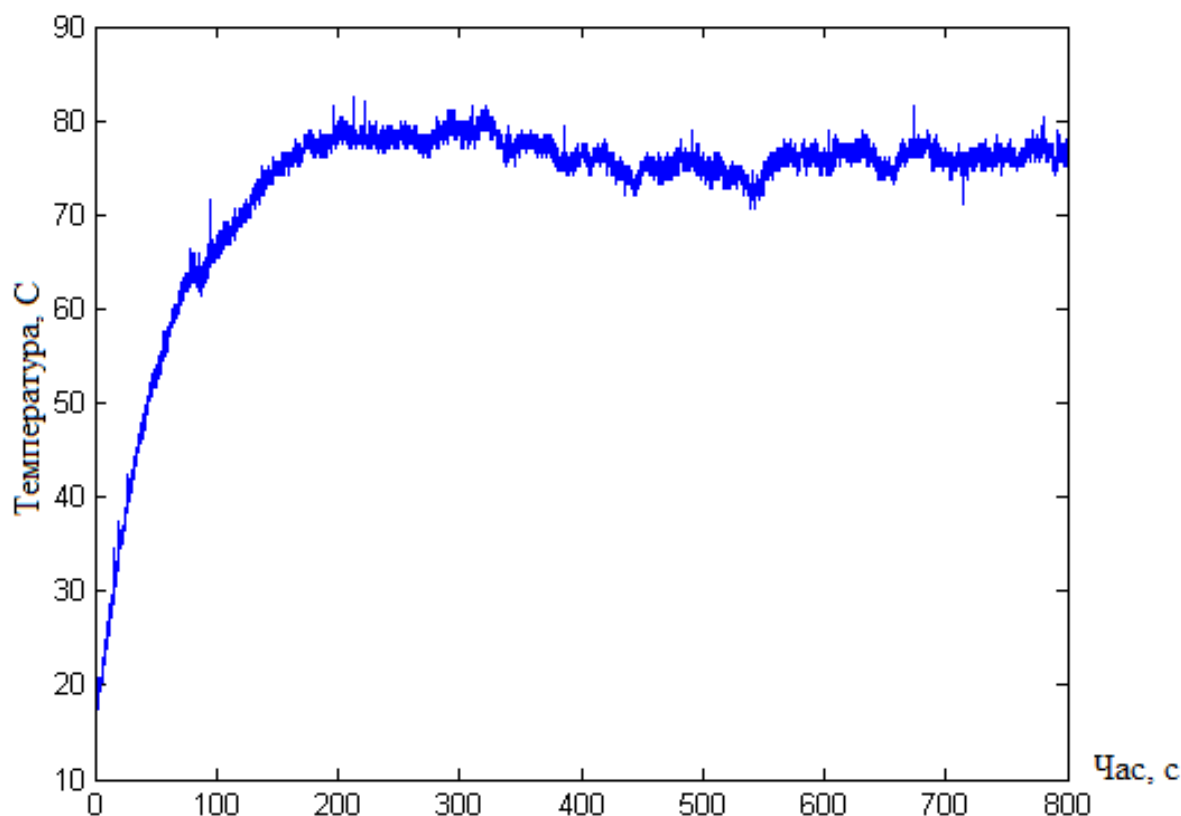


Рисунок 4.8 – Результати моделювання динаміки температури із використанням ПІ-регулятора

Аналіз результатів моделювання, які наведено на рисунках 4.7 і 4.8, доводить спроможність використання більш простого принципу контролю температури коксової печі на базі ПІ-регулятора. Цей факт встановлено на підставі значення постійної часу, яка для ПІ- та ПІІ-регуляторів складає близько 120 с.

4.3 Модель бездротового інтерфейсу передачі результатів вимірювального контролю

На сьогоднішній день із регламентованих функціональних вузлів сучасних електронних інформаційно-вимірювальних систем промислового призначення є бездротовий інтерфейс обміну результатами вимірювального моніторингу [21 – 23]. Відносно інформаційно-вимірювальної електронної системи контролю температури коксової печі в умовах коксохімічних

виробництв заявлений інтерфейс може бути побудований і реалізований на базі технології LoRa. Загальна сфера застосування заявленого інтерфейсу типу LoRa наведена на рисунку 4.9.

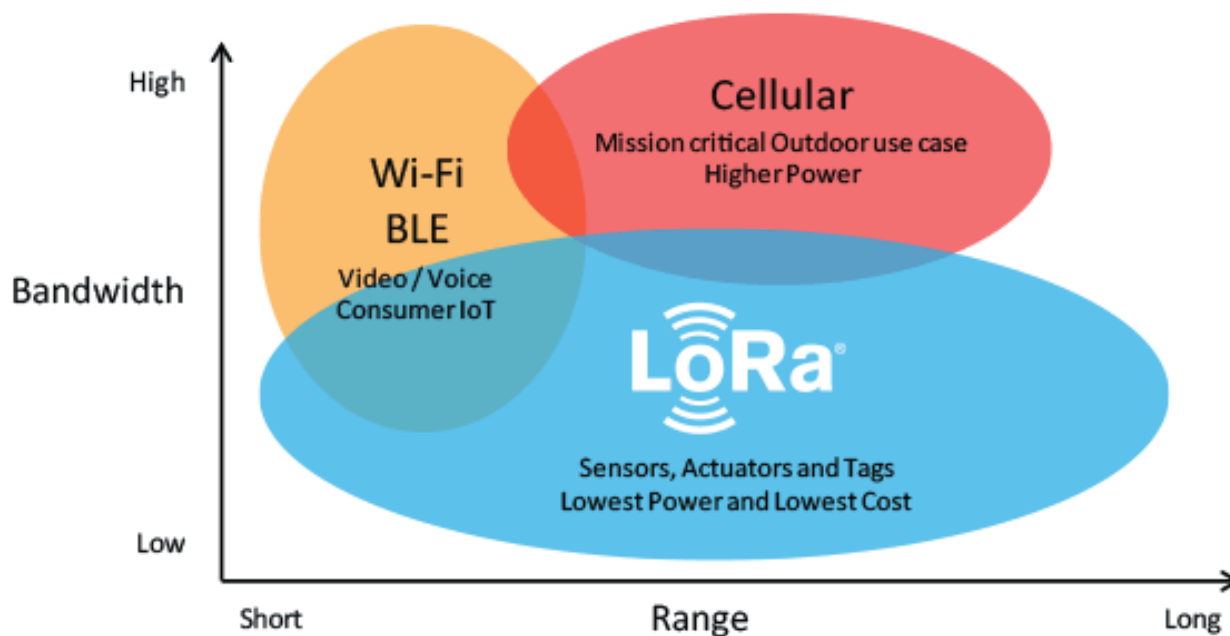


Рисунок 4.9 – Сфери застосування інтерфейсу LoRa

Термін LoRa є скороченням та означає Long Range. Це бездротова технологія, який функціонує в діапазоні радіочастот та розроблена і серійно представлена компанією Semtech.

Технологія LoRa може використовуватися для повнодуплексної двонаправленої передачі вимірювальної інформації на великі відстані та за наявності значних завад без значних витрат енергії.

Отже, ця характерна особливість може бути використана у складі досліджуваної електронної системи, яка має отримувати дані від розподілених у просторі сенсорів.

Зовнішній вигляд розроблюваного бездротового інтерфейсу на базі мікрочіпу LoRa наведено на рисунку 4.10.

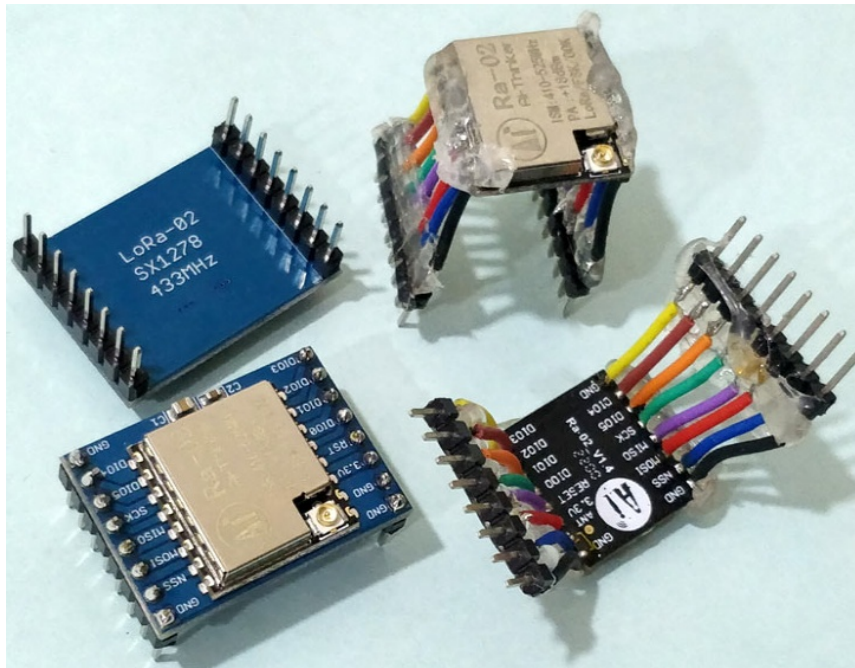


Рисунок 4.10 – Фізичний вигляд бездротових модулів LoRa

Розроблену і протестовану програмну компоненту електронної системи для бездротового обміну вимірювальною інформацією в умовах коксохімічного виробництва для передавача і приймача даних наведено на рисунках 4.11 і 4.12, відповідно.

```

sketch_mar24a $
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
int counter = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Sender");
  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  LoRa.setTxPower(20);
}

void loop() {
  Serial.print("Sending packet: ");
  Serial.println(counter);
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.print(data);
  LoRa.print(counter);
  LoRa.endPacket();
  counter++;
  delay(5000);
}

```

Рисунок 4.13 – Фото програми для передавача



```

sketch_mar24a $
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Receiver");
  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}
void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    Serial.print("Received packet ");
    while (LoRa.available()) {
      Serial.print((char)LoRa.read());
    }
    Serial.print("' with RSSI ");
    Serial.println(LoRa.packetRssi());
  }
}

```

Рисунок 4.12 – Фото програми для передавача

4.4 Висновки

У наведеному розділі магістерської роботи проведено дослідження з обґрунтування алгоритмічного забезпечення щодо розширення функціональних можливостей класичних електронних вимірювачів температури коксової батареї за рахунок використання концептуальних принципів технологій інтернету речей та бездротових сенсорних мереж, що задовольняє сучасним напрямкам розвитку електронних засобів інформаційно-вимірювальної техніки для промислових підприємств.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі було вирішено актуальну науково-прикладну задачу, яка полягає в розробці та дослідженні електронної системи безперервного неруйнівного вимірювального контролю температури коксової батареї, що дозволить оперативно в режимі реального часу корегувати характеристики й параметри технологічного процесу виготовлення коксу, а також обґрунтувати шляхи із підвищення ефективності коксохімічного виробництва.

У першому розділі було проведено дослідження на предмет критичного аналізу технічних і функціональних характеристик коксових батарей, що дозволило встановити сукупність базових методів і засобів вимірювальної техніки, які можуть бути використані під час проведення досліджень із розробки електронної системи вимірювального контролю температури коксових печей.

У другому розділі магістерської роботи було проведено дослідження з обґрунтування структурно-алгоритмічної організації оптико-електронної системи вимірювання температури коксової батареї, що дозволило синтезувати сукупність вимог для проведення подальших досліджень із апаратно-програмної реалізації цієї електронної системи.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра було виконано розрахунок основних параметрів компонент системи, що дозволило обґрунтувати ряд актуальних вимог до елементної бази електронної системи вимірювання температури коксової батареї.

У четвертому розділі магістерської роботи проведено дослідження з обґрунтування алгоритмічного забезпечення щодо розширення функціональних можливостей класичних електронних вимірювачів температури коксової батареї за рахунок використання концептуальних принципів технологій інтернету речей та бездротових сенсорних мереж, що задовольняє сучасним

напрямам розвитку електронних засобів інформаційно-вимірювальної техніки для промислових підприємств.

Наукова новизна одержаних результатів у магістерській роботі полягає у синтезі структурно-алгоритмічну організацію електронна система вимірювання температури коксової батареї з задовільними метрологічними та розширеними функціональними характеристиками, що дозволяє підвищити ефективність протікання технологічних процесів в умовах коксохімічних підприємств.

Практичне значення одержаних результатів у магістерській роботі полягає в обґрунтовані апаратно-програмного забезпечення електронної системи неруйнівного вимірювального контролю температури коксової батареї із використання серійної широкодоступної компонентної бази й загальновідомих електронних обчислювальних технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Демченко, М.Т. Системи технологій промисловості: стислий конспект лекцій / М.Т. Демченко М.Т., В.В. Харченко. – Донецьк: ДонДУУ, 2011. – 91 с.
2. Демченко, М.Т. Системи технологій: навчальний посібник. / М.Т. Демченко, С.Ф. Поважний; 2-ге вид., переробл. і доповн. – Донецьк: ДонДУУ, 2008. – 355 с.
3. Пыриков, А.Н. Защита окружающей среды на коксохимическом производстве / А.Н. Пыриков, С.В. Васнин, В.М. Боранбаев, и др. – М.: Интернет инжиниринг, 2000. – 176 с.
4. Антипов, І.В. Системи сучасних технологій: навчальний посібник / І.В. Антипов, С.Ф. Поважний, Н.О. Войкова. – Донецьк: ДонДУУ, 2006. – 297 с.
5. Avdeevka City [Електронний ресурс]: – Електронні данні. – Режим доступу: <http://avdeevka.city/news/view/chto-obshhhego-u-koksovyh-batarej-akhz-i-kosmicheskikh-korablej>. – Дата доступу: вересень 2020. – Загл. з екрана.
6. Технологія коксохімічного виробництва [Електронний ресурс]: – Електронні данні. – Режим доступу: https://studopedia.ru/17_121311_tehnologiya-koksohimichnogo-virobnitstva.html. – Дата доступу: вересень 2020. – Загл. з екрана.
7. Температурные измерения. Справочник / О.А. Геращенко, А.Н. Гордов, А.К. Еремина, и др.; отв. ред. Геращенко О.А.; АН УССР. Ин-т проблем энергосбережения. – К.: Наук. думка, 1989. – 704 с.
8. Гордов, А.Н. Основы температурных измерений/ А.Н. Гордов О.М. Жагулло, А.Г. Иванова. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 304 с.
9. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 4-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 799 с.
10. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая схемотехника (Полный курс): учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2000. – 768 с.

11. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисциплін «Аналогова схемотехніка», «Твердотіла електроніка», «Пристрої аналогової електроніки», «Комп'ютерна схемотехніка», «Основи схемотехніки», «Електроніка та мікросхемотехніка» (для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей) / [Укл.О.В. Вовна, А.А. Зорі, І.С. Лактіонов]. – Покровськ (Красноармійськ): ДонНТУ, 2016. – 58 с.

12. Основи технічної електроніки: підручник в 2 т. Т. 2. Схемотехніка / В.І. Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, В.М. Співак, Т.О. Терещенко. – К.: Вища шк., 2007 – 512 с.

13. Хоровиц, П. Искусство схемотехники: монография / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: БИНОМ, 2009. – 704 с.

14. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналогово - цифровых устройств / Г.И. Волович. – М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2005. – 528 с.

15. Analog Device [Електронний ресурс]: – Електронні данні. – Режим доступу: <https://www.analog.com/ru/products/ad8065.html>. – Дата доступу: жовтень 2020. – Загл. з екрана.

16. Жидецький, В.Ц. Практикум із охорони праці / В.Ц. Жидецький та ін. – Л.: Афіша. – 2000 – 349 с.

17. Asupro [Електронний ресурс]: – Електронні данні. – Режим доступу: <http://asupro.com/work/asutp-plant-coke-gas-desulfurization.html>. – Дата доступу: жовтень 2020. – Загл. з екрана.

18. S. Appari, R. Tanaka, C.Y. Li, S. Kudo, J. Hayashi, M.J. Vinod, H. Watanabe and K. Norinaga, Predicting the Temperature and Reactant Concentration Profiles of Reacting Flow in the Partial Oxidation of Hot Coke Oven Gas Using Detailed Chemistry and A One-dimensional Flow Model, Chemical Engineering Journal, 266 (2015), 82–90.

19. W.S. Lin, L. Zhang and A.Z. Gu, Effects of Hydrogen Content on Nitrogen Expansion liquefaction Process of Coke Oven Gas, Cryogenics, 61 (2014), 149–153.

20. G.F. Li, P.X. Qu, J.Y. Kong, G.Z. Jiang, L.X. Xie, P. Gao, Z.H. Gao and Y. He, Coke Oven Intelligent Integrated Control System, *Applied Mathematics and Information Sciences*, 7 (2013), 1043–1050.
21. A. Lavric and A. Petrariu, “LoRaWAN communication protocol: the new era of IoT,” in 2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS), pp. 74–77, Suceava, Romania, 2018, IEEE.
22. D. S. Kim, B. J. Chung, and S.-Y. Son, “Implementation of a low-cost energy and environment monitoring system based on a hybrid wireless sensor network,” *Journal of Sensors*, vol. 2017, Article ID 5957082, 11 pages, 2017.
23. K. Staniec and M. Kowal, “LoRa performance under variable interference and heavy-multipath conditions,” *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, Article ID 6931083, 9 pages, 2018.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених , МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений

підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_b \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_θ – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_\theta \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м^2 підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м^2 .

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{сп} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot \rho \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5–4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,4 = 2,7 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,7 = 1,9 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світлового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{CB}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$