

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

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

_____ Олександр ВОВНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою вимірювання кількості теплоти під час згоряння газів»

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

спеціальності _____ 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Удовенко Олексій Васильович
(Прізвище, ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник _____ зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф. _____ Олександр ВОВНА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент _____ зав. каф. ПМІ, д.т.н., проф. _____ Ольга ДМИТРИЄВА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль
зав. кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

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

_____ Олександр ВОВНА
(підпис)

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

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

Кафедра електронної техніки
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра _____

Тема: «Розробка електронного пристрою вимірювання кількості теплоти під час згоряння газів»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТз – 18

Олексій УДОВЕНКО

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Олександр ВОВНА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Олександр ВОВНА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Олександр ШТЕПА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра Електронна техніка
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Олександр ВОВНА

« _____ » 2022 року

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

Удовенко Олексій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою вимірювання кількості теплоти під час згоряння газів

керівник проекту (роботи) Вовна Олександр Володимирович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.04.2022 року № 163

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) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

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	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
2.1	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
2.2	проф. каф. ЕТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
3	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Штепа О.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз методів і засобів вимірювання кількості теплоти під час згоряння газів		
2	Розробка математичної моделі термохімічного вимірювального перетворювача		
3	Розробка електронного пристрою термохімічного контролю газів		
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві		

Студент _____ Олексій УДОВЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Олександр ВОВНА
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

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

АНОТАЦІЯ

Удовенко, О.В. Розробка електронного пристрою вимірювання кількості теплоти під час згоряння газів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Луцьк, 2022.

Пояснювальна записка: 56 стор., 8 рис., 16 посилань.

Удосконалення засобів термохімічного вимірювального контролю газових сумішей необхідно спрямовувати на розробку та створення вимірювальних пристроїв, вихідний сигнал яких залежить від теплоти згоряння газів та не залежить від властивостей компонентів газової суміші до реакції каталітичного окислення. Удосконалені пристрої повинні мати широкі функціональні можливості, високу часову стабільність та підвищену швидкодію вимірювання. Значення вихідного сигналу вимірювального перетворювача під час стабілізації параметрів визначається нижньою межею об'ємної питомої теплоти згоряння газів. Зазначений показник є базовим для визначення якості горючих газових сумішей. Розроблено математичну модель термохімічного вимірювального перетворювача, яка базується на динамічних властивостях інерційних кіл першого порядку.

Під час функціонування термохімічного вимірювального перетворювача в імпульсному режимі за величиною амплітуди та площі вихідного сигналу можна визначити нижню межу об'ємної питомої теплоти згоряння газу.

Термохімічний вимірювальний перетворювач базується на вимірюванні значення температури продуктів каталітичного окислення, що дозволяє застосовувати його для визначення показників якості горючих газів. Термохімічний перетворювач також можна застосовувати для створення швидкодіючих вимірювачів нижньої межі об'ємної питомої теплоти згоряння газів, а також загальної концентрації вуглеводнів.

Ключові слова: концентрація, горючий газ, термохімічний метод, теплота згорання, похибка, швидкодія, конструкція, структура.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПІД ЧАС ЗГОРЯННЯ ГАЗІВ.....	9
1.1 Аналіз типів існуючих термохімічних засобів вимірювання концентрації газів.....	9
1.2 Термохімічні вимірювачі концентрації газів на базі каталітичного терморезистора.....	11
1.3 Постановка задачі на проектування електронного пристрою.....	19
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕРМОХІМІЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА.....	22
2.1 Математична модель динамічної характеристики перетворення термохімічного сенсора.....	22
2.2 Оцінка метрологічних характеристик термохімічного вимірювального перетворювача.....	27
3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ТЕРМОХІМІЧНОГО КОНТРОЛЮ ГАЗІВ.....	33
3.1 Розробка конструкції термохімічного вимірювального перетворювача теплоти згорання газів.....	33
3.2 Розробка термохімічного вимірювального пристрою теплоти згорання газів.....	36
3.3 Розробка термохімічного вимірювального пристрою концентрації вуглеводнів у повітрі.....	42
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	50

ВСТУП

У теперішній час видобуток горючих газів постійно збільшується завдяки підвищенню видобутку не тільки природного, а й супутнього та сланцевого газу. До складу цих газів входять доволі велика кількість компонентів, які мають зазвичай горючі газоподібні властивості. Для вимірювального контролю якості зазначених газових компонентів на підприємствах газодобувної галузі виконується визначення складу та базового інтегрального показник, а саме нижня межа об'ємної теплота згоряння, щільність газів, а також індекс Воббе. Аналогічні завдання вимірювального контролю якості газів мають місце під час здійснення досліджень процесів газифікації, а також піролізу матеріалів, що містять вуглеводні. Для здійснення вимірювального контролю зазначених характеристик газового середовища застосовуються різні технічні засоби вимірювальної техніки, зокрема детектори газів та аналітичні газоаналізатори.

На сьогодні розроблено та створено більше 70 методів і технічних засобів вимірювання хімічних і фізичних параметрів і характеристик газів і парів, які зазвичай називають способами або принципами детектування [1, 2]. Така велика кількість способів і принципів детектування газів обумовлено доволі інтенсивним розвитком газової хроматографії, що почалось кінця 40-х років XX-століття. Серед цих способів доволі важливу роль відіграє термохімічний спосіб, який застосовується для вимірювання концентрації горючих газів. У переважної більшості способів (фотоіонізаційний, полум'яно-фотометричний та ін.) величина чутливості більше ніж у термохімічного, проте вони мають складну апаратну компоненту. У інших способах апаратна компонента порівняна з термохімічним, проте акустичні, термокондуктометричний та ін. мають меншу величину чутливості.

Термохімічні вимірювачі концентрації газів застосовуються в різних сферах промисловості для визначення вибухонебезпечних концентрацій

горючих газів в суміші з повітрям. Особливої уваги заслуговує такий вимірювальний контроль у вугільних шахтах. Широко використовуються термохімічні вимірювачі під час здійснення визначення продуктів згоряння від вуглеводневого палива у двигунах внутрішнього згорання та нагрівачах. Термохімічний вимірювальний контроль є базовим для одержання інформаційної складової щодо наявності вуглеводнів під час газового каротажу в бурильних свердловинах.

Під час аналізу схем і принципів роботи термохімічних вимірювачів можна зробити висновок, що термохімічний вимірювальний контроль газів у теперішній має динамічний розвиток, що дозволяє розв'язувати сучасні проблеми аналізу газових середовищ. Під час цього застосовуються старі та нові схеми технічних засобів термохімічного контролю. Під час аналізу зазначених схем виявлено, що каталітичне згоряння газів відбувається не повністю. Для окремої паливної речовини величина каталітичного згоряння має різний ступінь, що істотно ускладнює аналіз вимірювальної інформації та калібрування технічних засобів термохімічного вимірювача. У пристроях з насипним каталізатором має місце повне згоряння горючих газів. У зазначених електронних пристроях велика інерційність, це істотно ускладнює їх використання для здійснення контролю концентрації горючих газів в режимі реального часу.

У випускній кваліфікаційній роботі розглядається термохімічний метод вимірювального контролю, в якому окиснення газів відбувається в проточному реакторі, який має гранульований каталізатор. Вимірювальну інформацію щодо зміни теплоти, яка розсіюється під час цього, вимірюється завдяки визначенню температури продуктів згоряння. Зазначені заходи забезпечують повне згоряння газів, що дозволяє визначити значення масової концентрації горючих газів, а також нижньої межі об'ємної теплоти згоряння та істотно зменшить інерційні властивості термохімічного вимірювача.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПІД ЧАС ЗГОРЯННЯ ГАЗІВ

1.1 Аналіз типів існуючих термохімічних засобів вимірювання концентрації газів

Термохімічні методи вимірювального контролю хімічних і фізичних властивостей газів, а також їх концентрації розпочали розвиватися під час розв'язання завдань щодо попередження виникнення вибухонебезпечних концентрацій метану у вугільних шахтах. Також ці методи продовжували розвиватися для здійснення вимірювального контролю параметрів процесів горіння палива на теплових електростанціях. Для реалізації зазначених методів розроблено та створено доволі велику кількість термохімічних вимірювачів концентрації газів, а також конструктивних вузлів базових вимірювальних пристроїв: термохімічних детекторів і термохімічних вимірювальних перетворювачів. У роботі детектор і первинний вимірювальний перетворювач використовуються як синоніми.

Термохімічні вимірювачі концентрації газів розділяють на два типи [3, 4]: електронні пристрої, в яких терморезистор виконує одночасно дві функції каталізатора горіння та вимірювального перетворювача температури, які отримали назву термохімічні вимірювальні пристрої концентрації газів з активним каталітичним терморезистором, а також вимірювальні пристрої, в яких каталітичне горіння та процес вимірювального контролю температури розділено, ці пристрої отримали назву термохімічні вимірювальні пристрої концентрації газів з насипним каталізатором.

Наведена класифікація не відображає сучасний стан та різновиди термохімічних вимірювачів. Більш детальну класифікацію сучасних термохімічних вимірювальних пристроїв наведено в [6], що мають металевий терморезистор, та є тільки одним типом зазначених пристроїв.

Отже, необхідно проаналізувати та класифікувати сучасні термохімічні вимірювальні пристрої концентрації газів, які охоплюють усі зазначені типи пристроїв. У кваліфікаційній роботі на базі аналізу та вивчення літератури, що присвячено термохімічним вимірювальним пристроям концентрації газів, наведено їх класифікації, до якої термохімічні пристрої можна розділити за такими ознаками:

- тип вимірювального перетворювача температури: термоелектричний вимірювальний перетворювач або терморезистор, від застосування якого залежить тип вторинного або проміжного вимірювального перетворювача, що застосовується для обробки інформаційної складової вихідного сигналу термоприймача;

- форми активного каталітично середовища, через яку визначається конструктив термохімічного вимірювального перетворювача;

- методу нагрівання активного каталітично середовища, що здійснюється зі застосування електричного струму вимірювального мосту, до плеча якого підключений терморезистор, що визначає прямий спосіб нагрівання, або від зовнішнього джерела напруги живлення, що визначає непрямий спосіб нагрівання;

- вимірюваного параметра.

До класифікаційної ознаки «вимірювальний параметр» введено ще один фактор, який з обліком сучасного стану розвитку термохімічних вимірювальних перетворювачів концентрації газів. У названій ознаці крім класичних термохімічних вимірювачів, які базуються на визначенні величини електричного опору активного каталітично терморезистора, та термохімічних вимірювачах на базі визначення величини температури активного каталітично носія виділяють такі вимірювальні пристрої, які базуються на вимірюванні величини температури речовини, що мають місце під час каталітичного згоряння. Зазначену класифікаційну ознаку застосовано під час аналізу сучасних термохімічних вимірювачів концентрації газів.

1.2 Термохімічні вимірювачі концентрації газів на базі каталітичного терморезистора

Термохімічні вимірювачі концентрації на базі активних каталітичних терморезисторів почали активно застосовувати здійснення автоматичного аналізу компонентів газової суміші. Спочатку ці вимірювальні пристрої використовувалися для визначення концентрації метану в атмосфері вугільних шахт, а також для визначення концентрації горючих газів, які мають місце під час дії хімічного не остаточного окислення палива в котлах теплових електростанцій.

Згодом термохімічні вимірювачі набули широкого розповсюдження як засоби вимірювального контролю та сигналізації довибухових концентрацій газів і парів у атмосфері промислових підприємств [5 – 7].

Принцип дії термохімічних вимірювачів концентрації газів базується на каталітичному спалюванні на поверхні активного каталітичного терморезистора. Це резистор нагрівається до температури від 300 до 700°C. Під час цього розсіюється кількість теплоти, яка змінює величину електричного опору терморезистора. Активний каталітичний терморезистор нагрівається внаслідок протікання через нього електричного струму. Терморезистор є платиновим провідником, діаметр якого знаходиться в межах від 0,03 до 0,08 мм [8]. Величину температури t активного каталітичного платинового терморезистора можна визначити за таким співвідношенням [5]:

$$t = t_c + \frac{I^2 \cdot R_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_c) + k \cdot G \cdot C}{\alpha \cdot F - I \cdot R_0 \cdot \beta},$$

де t_c – температура середовища навколо терморезистора;

I – електричний струм, що протікає через терморезистор;

R_0 – величина опору терморезистора;

β – температурний коефіцієнт опору;

G – тепловий ефект під час реакції каталітичного згорання;

C – об’ємна концентрація горючої речовини, що визначається;

α – коефіцієнт віддачі тепла терморезистором;

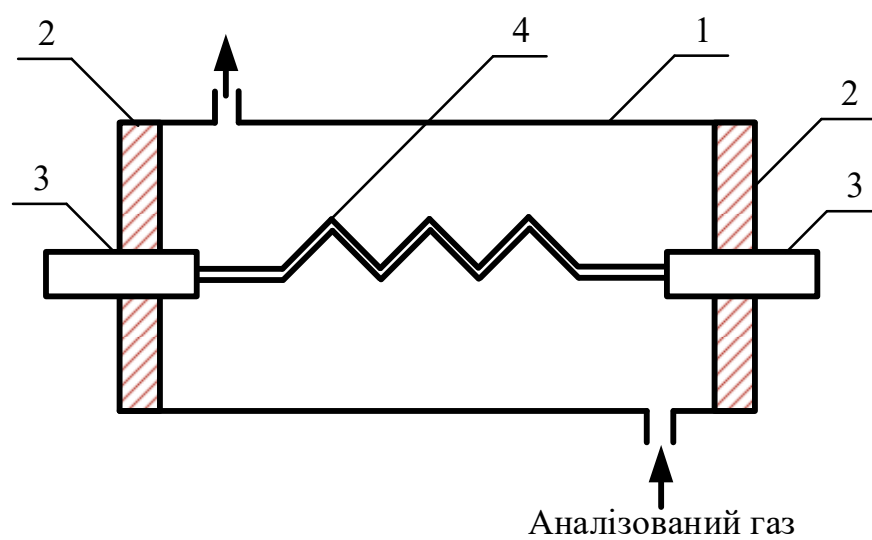
F – площ поверхні терморезистора;

У теперішній час знайшло застосування декілька конструктивів термохімічних вимірювальних перетворювачів, які застосовують активний каталітичний терморезистором [5].

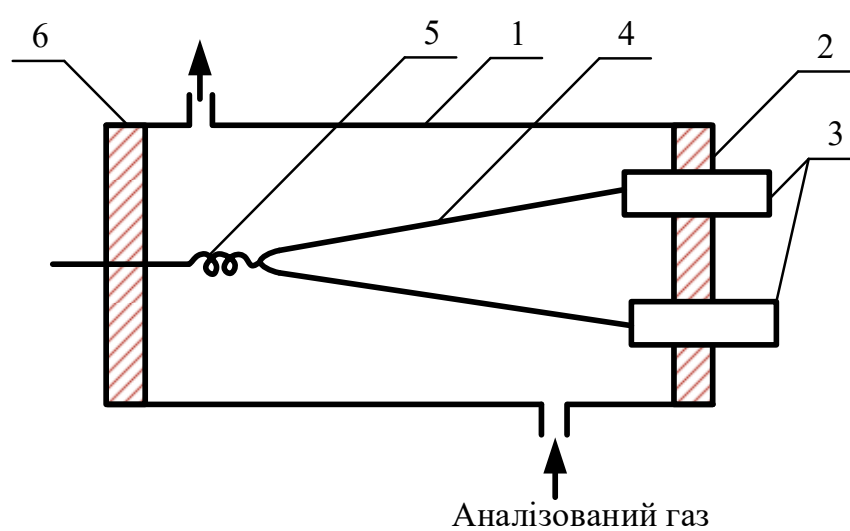
Схеми найбільш розповсюджених вимірювальних перетворювачів наведено на рис. 1.1, де позначені перетворювачі з проточною камерою 1, що промивається за допомогою газу, що аналізується, де на ізоляторах 2 закріплено наконечники 3, що проводять електричний струм. До зазначених наконечників приварена спіраль з платини, яка є активним каталітичним терморезистором. Ця спіраль має невелике значення опору, величина якого складає декілька Ом.

У конструктиві термохімічного вимірювального перетворювача, що наведено на рис. 1.1, б, активний каталітичний терморезистор зроблено як платиновий дріт. Вимірювальний перетворювач має в своєму складі проточну камеру 1, яку промиває газова суміш, що аналізується. У цій камері на ізоляторі 2 розташовано наконечники 3, що проводять електричний струм. До цих наконечників приварений активний каталітичний терморезистор 4. Через пружинку 5 перекинута дріт терморезистора. Цю пружинку закріплено на ізоляторі 6, її застосовують для натягування дроту під час його нагрівання.

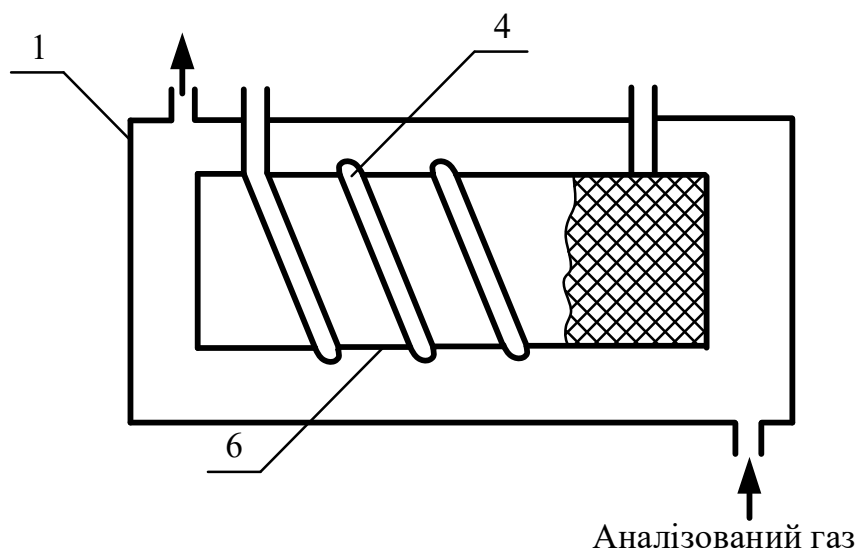
Крім вільно розташованих дротів активних каталітичних терморезисторів застосовуються конструкції термохімічних вимірювальних перетворювачів, де терморезистор 4 розташовано на каркасі 6, що наведено на рис. 1.1, в. Це каркас виготовлено з азбесту або кераміки. У цій конструкції терморезистор намотано на каркас, який зазвичай має гвинтове нарізання для розташування терморезистора, що зменшує ймовірність виникнення замикання між витками.



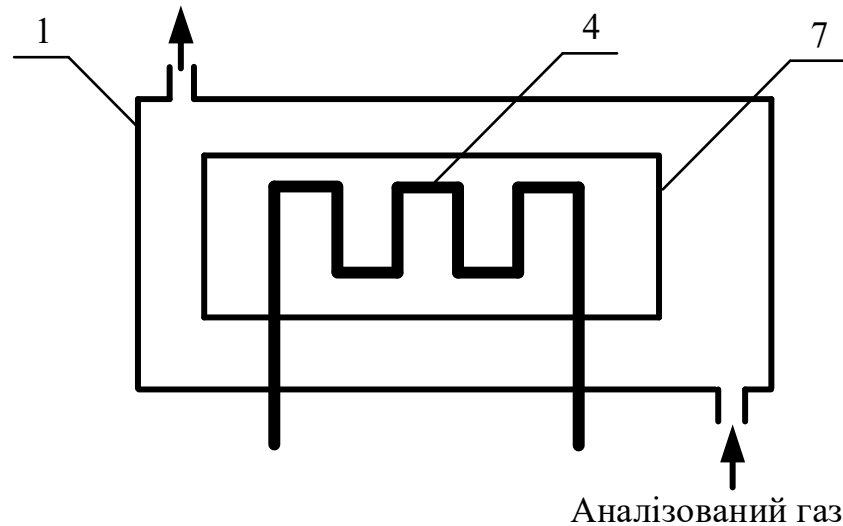
а)



б)



в)



г)

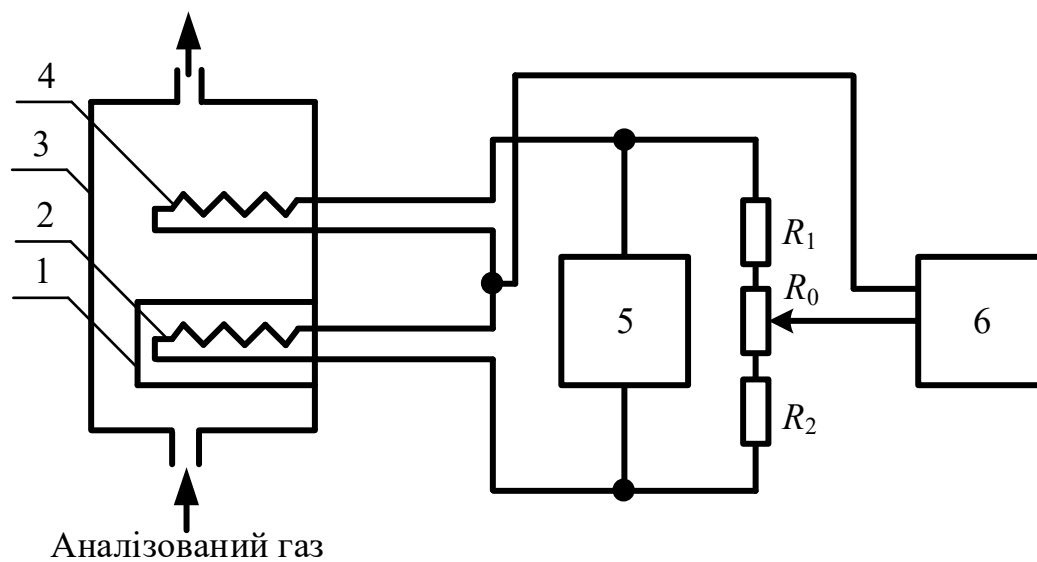
Рисунок 1.1 – Схеми термохімічних вимірювальних перетворювачів на базі активних каталітичних резисторів

Також знайшли застосування конструкції термохімічних перетворювачів, у яких як чутливий елемент застосовуються плівка 4, що нанесено на підкладку з діелектрика 7 методом планарної технології, що наведено на рис. 1.1, г. Активний каталітичний терморезистор розташовують у проточній камері 3, через яку проходить газова суміш, що аналізується.

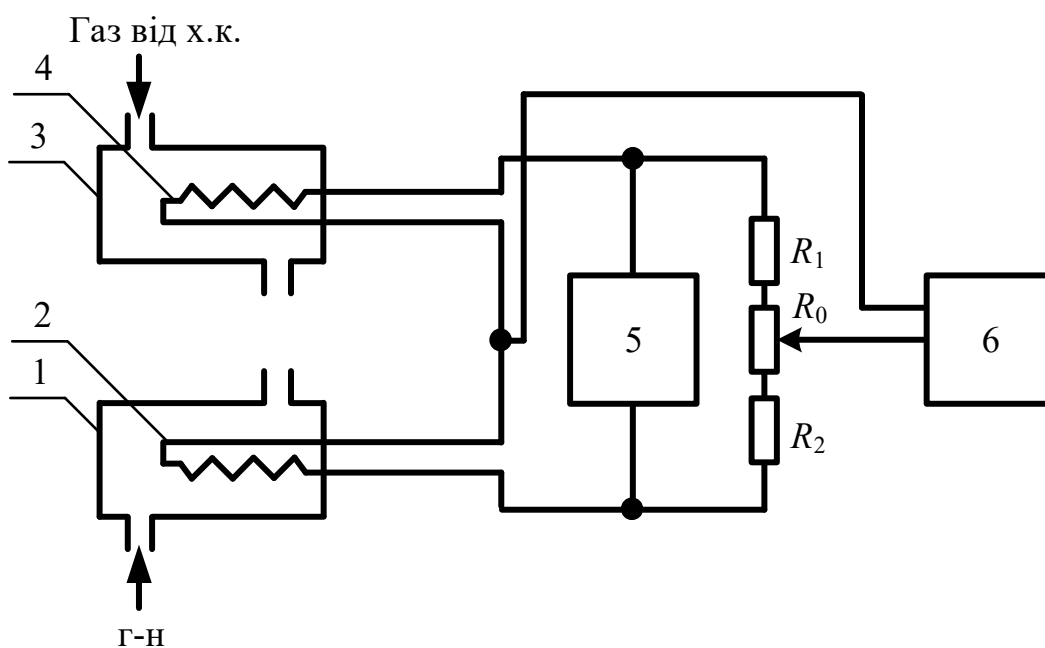
Схему термохімічних вимірювальних пристроїв концентрації газів на базі активних каталітичних терморезисторів наведено на рис 1.2. Зазвичай застосовують дві схеми вимірювачів: схема, що наведено на рис. 1.2, а, є однокамерною, а на рис. 1.2, б є двокамерною. У однокамерному термохімічному перетворювачі камера 1, в якій знаходиться порівняльний терморезистора 2, що розташовано в проточній камері 3, де розміщено вимірювальний активний каталітичний терморезистор 4. Ці два терморезистори підключено до схеми неврівноваженого вимірювального мосту, який містить два постійних R_1 та R_2 , а також змінний R_0 резистори.

Живлення моста відбувається від стабілізованого джерела напруги 5. Під час розбалансу вимірювального моста має місце інформаційна складова щодо зміни об'ємної концентрації газового компонента, що вимірюється. Значення

вихідного сигналу вимірювального моста визначається вольтметром або потенціометром, градуювання шкали якого виконано в об'ємній концентрації аналізованого газового компонента суміші.



а)



б)

Рисунок 1.2 – Структурні схеми термохімічних вимірювальних пристроїв на базі активних каталітичних терморезисторів

У терморезистора порівняння 2 такі самі характеристики, як у вимірювального, також порівняльний терморезистор розташовано в окремій камері, що виключає потрапляння до його поверхні компонент аналізованої газової суміші. Значення температури на цьому терморезисторі дорівнює температурі газового середовища, а також величині температури на вимірювальному терморезисторі 4 без впливу компонента аналізованої газової суміші. Зазначені два терморезистори включено до суміжних плечей вимірювального моста, що істотно зменшує вплив зміни температури аналізованого газу на результат вимірювання концентрації. Змінний резистор R_0 застосовується для регулювання до початкового значення вихідного сигналу термохімічного вимірювального пристрою.

Схема термохімічного вимірювального пристрою, яку наведено на рис. 1.2, б, що застосовується в газовій хроматографії, відрізняється від схеми вимірювача, яку наведено на рис. 1.2, а, наявністю двох камер, що розділені між собою. Через камеру порівняння 1, де розташований відповідний терморезистор 2, проходить чистий газ, який називається газом-носієм. Через вимірювальну камеру 3, де розташовано вимірювальний терморезистор 4 проходить газ від хроматографічної колонки. Під час прокачування потоку зі застосуванням термохімічного вимірювального пристрою, як детектора газового хроматографа, має місце розділення багатокомпонентної суміші на хроматографічній колонці на окремі компоненти, концентрація яких вимірюється зі застосуванням термохімічного вимірювального пристрою.

У схемі термохімічного вимірювального пристрою, яку наведено на рис. 1.2, а терморезистори підключено до вимірювального моста з джерелом електричного живлення 5. Для здійснення вимірювання величини розбалансування моста застосовується автоматичний потенціометр або мікроконтролер з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем.

Зміну вихідного сигналу напруги термохімічного вимірювального пристрою концентрації горючих газів можна аналітично описати такою залежністю [9]:

$$U = K \cdot \varphi \cdot \theta_{\text{н}} \cdot \alpha,$$

де α – величина об'ємної концентрації аналізованої газової речовини;

$\theta_{\text{н}}$ – нижча мажа об'ємної теплота згоряння аналізованого газового компонента суміші;

φ – коефіцієнт, величина якого характеризує ступінь згоряння, а також залежить від аналізованої газової речовини;

K – постійний коефіцієнт для конкретного вимірювального пристрою.

З аналізу наведеної залежності можна зробити висновок, що значення вихідного сигналу термохімічного вимірювального пристрою залежить від величини нижчої об'ємної теплоти згоряння аналізованої газової речовини, яка визначається в суміші. Також значення цього сигналу залежить від коефіцієнта φ , величина якого є різною для різних горючих газів.

До переваг термохімічного вимірювального пристрою з активним каталітичним терморезистором можна віднести відносно велике значення швидкодії під час вимірювання, що обумовлено ємністю камер, де розташовано терморезистор, а також доволі велике значення чутливості, величина якого дорівнює 300 мВ/об.%. До недоліків цих термохімічних вимірювальних пристроїв відносять необхідність проведення доволі частого калібрування, що обумовлено зменшенням товщини активного каталітичного шару в платинових терморезисторах.

Для підвищення інтенсивності процесу каталітичного згорання газових компонентів суміші зазвичай застосовуються ультразвукові коливання, які утворюються в камері термохімічного перетворювача, схему якого наведено на рис. 1.3. Цей вимірювальний перетворювач має корпус 1, в торцях цього корпусу на ізоляторах 2 тримача 3 кріпиться вимірювальний 4 та порівняльний 5 терморезистори. У середині порожнини корпусу 1 розташовано п'єзокерамічна втулка, яку виготовлено з цирконат-титанату свинцю 6. На торці зазначеної втулки розташовано металеві електроди 7 і 8, що підключено до електричного генератора ультразвукових коливань 9. У цій конструкції

термохімічного вимірювального перетворювача проточні камери, де розташовано вимірювальний та порівняльний терморезистори, знаходяться між керамічною втулкою 6 та ізоляторами 2. У торцях втулки мають місце порожнини 11 і 12, завдяки яким здійснюється фокусування ультразвукових хвиль.

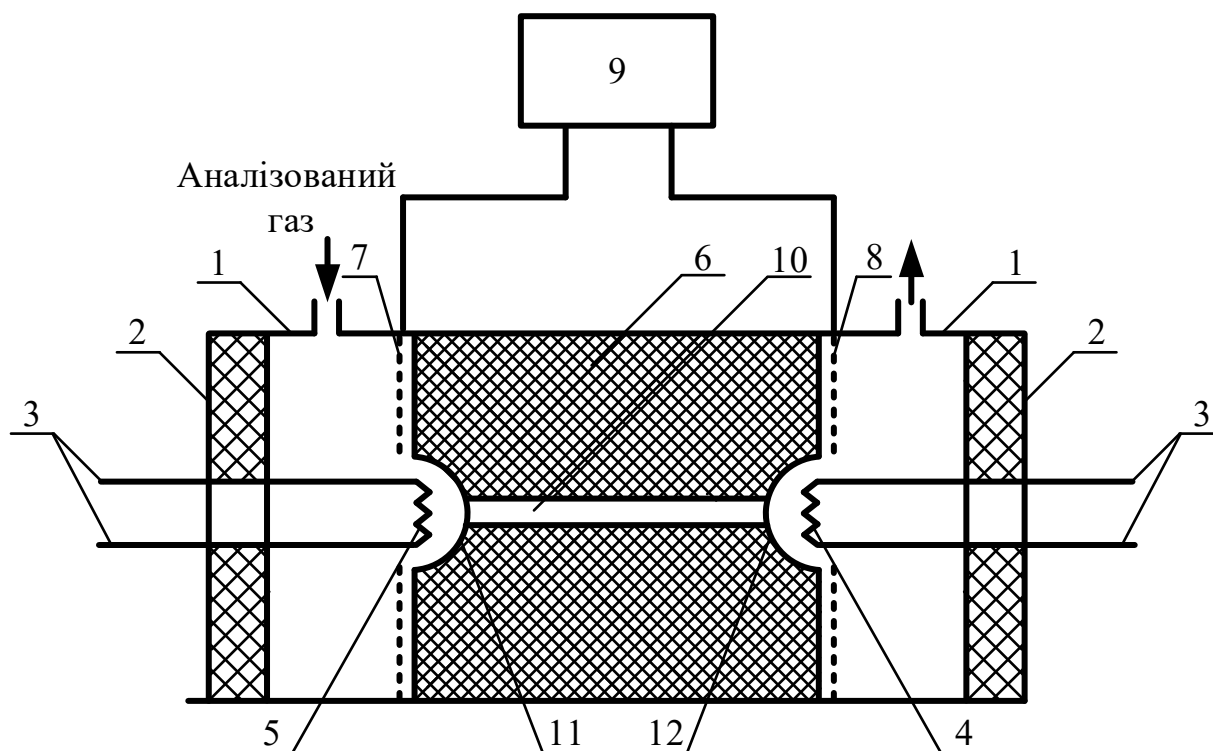


Рисунок 1.3 – Схема термохімічного вимірювального перетворювача, який має в своєму складі каталітичний терморезистор і випромінювач ультразвукових хвиль

Аналізована газова суміш подається попередньо до камери, в якій розташовано порівняльний терморезистор. Потім суміш за допомогою трубки 10 передається до камери, яка має вимірювальний терморезистор. Під час роботи завдяки подачі ультразвукових хвиль від генератора 9 електродів 7 і 8 утворюються ультразвукові коливання п'єзокерамічної втулки 6. Ці коливання передаються завдяки газовому потоку, що проходить через камеру детектора. Застосування ультразвукових хвиль підвищує чутливість вихідного сигналу щодо зміни вимірювального компоненту більш ніж в три рази.

1.3 Постановка задачі на проектування електронного пристрою

З аналізу термохімічних методів і технічних засобів вимірювального контролю концентрації горючих газових компонентів можна зробити висновок, що у теперішній час для забезпечення контролю концентрації газів застосовується різноманітні та численні за характеристиками та конструкцією термохімічні вимірювальні перетворювачі та пристрої, які розділяються на три великих класи. Для аналіз недоліків і переваг зазначених термохімічних вимірювальних засобів необхідно застосовувати наступні показники:

- діапазон вимірюваних значень концентрації аналізованого газового компоненту суміші;
- інерційність або швидкодія засобу вимірювання;
- залежність значень вихідного сигналу від хімічних і фізичних властивостей аналізованого газу;
- генераторний або параметричний вид вихідного сигналу вимірювального перетворювача;
- часова нестабільність вимірювального перетворювача;
- діапазон зміни робочої температури;
- функціональні можливості вимірювального електронного пристрою.

З обліком наведених показників виділяють три класи термохімічних вимірювальних перетворювачів і електронних пристроїв. Термохімічні вимірювальні перетворювачі, які базуються на вимірюванні опору активного каталітичного терморезистора, який у теперішній час використовується доволі не часто. Це пов'язано з його малою часовою нестабільністю, що обумовлено зміною каталітичних активних властивостей терморезистора, а також потребує виконання більш частого калібрування. Також у зазначеному вимірювачі має місце залежність зміни вихідного сигналу від хімічних і фізичних властивостей аналізованих газів, що орієнтовано на застосування аналізу горючих газів в умовах атмосферного повітря, з підвищеним значенням температури терморезистора, параметричним типом вихідного сигналу, а також доволі

малим діапазоном концентрацій, що вимірюються. Наявність зазначених факторів істотно погіршує властивості термохімічних вимірювальних перетворювачів та електронних пристроїв цього типу. До переваг зазначених вимірювачів можна віднести їх високу швидкодію, що визначається постійною часу, величина якої складає декілька десятків мілісекунд.

Термохімічні вимірювальні перетворювачі та електронні пристрої, які базуються на вимірюванні величини температури активного каталітичного середовища, отримали найбільшого розповсюдження під час розробки аналітичної вимірювальної техніки. Розроблено доволі велику кількість конструкцій цих термохімічних вимірювальних перетворювачів. Зазвичай застосовуються електронні пристрої на базі пелісторів. Також знайшли широке розповсюдження вимірювальні пристрої, які мають насипний каталізатор.

До переваг пелісторних термохімічних вимірювальних перетворювачів можна віднести високе значення часової стабільності, високу величину швидкодії, а також незначну чутливість до зміни температура вихідного сигналу вимірювального перетворювача. До недоліків цих типів термохімічних вимірювальних перетворювачів відносять залежність зміни вихідного сигналу від величини теплоти згоряння аналізованої речовини, а також від хімічних і фізичних властивостей аналізованого газу, параметризації вихідного сигналу перетворювача, орієнтування аналізу горючих газових сумішей в атмосферному повітрі, а також звужений діапазон вимірюваних значень концентрації.

До переваг термохімічних перетворювачів, які мають насипний каталізатор можна віднести високу величину чутливості, залежність вихідного сигналу перетворювача від теплоти згоряння, доволі невисоку величину температура каталізатора, підвищене значення часової стабільності, розширений діапазон вимірювання концентрації аналізованого горючого газу. До недоліків цих термохімічних перетворювачів можна віднести високе значення інерційності, а також параметризацію вихідного сигналу вимірювального перетворювача.

Невелика кількість термохімічних вимірювальних перетворювачів та електронних пристроїв, які базуються на вимірюванні температури активного каталітичного середовища, мають генераторний тип вихідного сигналу, якщо до їх складу входять термоелектричні вимірювальні перетворювачі.

Термохімічні вимірювальні перетворювачі та електронні пристрої, які базуються на вимірюванні температури продуктів згоряння, отримали широкого застосування. До переваг цих перетворювачів можна віднести те, що у них є потенціальна можливість щодо зміни технічних характеристик пристроїв. Це може забезпечити повне згоряння речовин на активному каталітичному середовищі, що визначає вихідні параметри сигналу лише від теплоти згоряння газової речовини, що аналізується. Зазначені вимірювальні перетворювачі можуть функціонувати під час дії невисоких значень температури, вони мають істотно меншу величину інерційності, ніж у термохімічних вимірювальних перетворювачах з насипним каталізатором, а також генераторний тип вихідного сигналу, високе значення часової стабільності та розширений діапазон вимірюваних значень концентрації газів.

Отже, для вдосконалення термохімічного методу вимірювального контролю концентрації газів необхідно виконати розробку та дослідження термохімічних вимірювальних перетворювачів та електронних пристроїв, які базуються на результатах вимірювання значення температури продуктів під час каталітичного згоряння.

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕРМОХІМІЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

2.1 Математична модель динамічної характеристики перетворення термохімічного сенсора

Схему, яку застосовано для моделювання характеристик термохімічного вимірювального перетворювача детектора, наведено на рис. 2.1 [10].

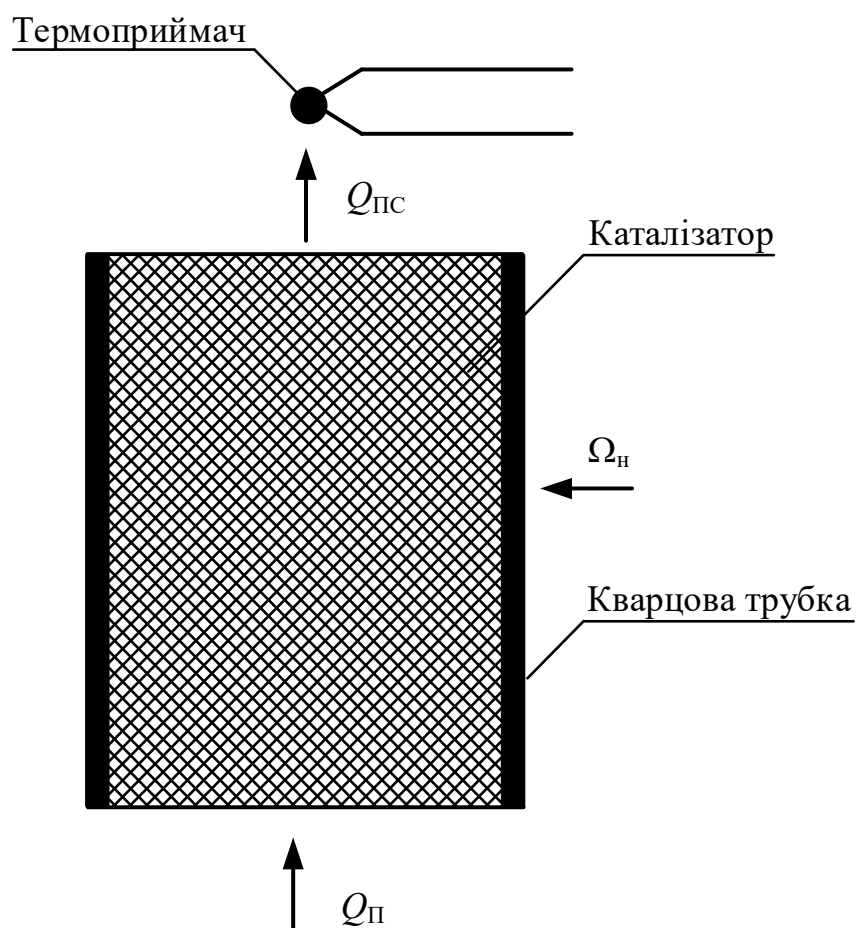


Рисунок 2.1 – Схема термохімічного вимірювального перетворювача, яка застосовується для моделювання його характеристик

Властивості термохімічного вимірювального перетворювача визначаються властивостями мікрореактора, а також термоелектричного

перетворювача, у вигляді послідовних динамічних кіл. До мікрореактора через стінку трубки, яку виготовлено з кварцу, підводиться потік тепла Ω_n від нагрівача. Це забезпечує необхідну величину температури каталізатора, під час дії якої має місце каталітична реакція. Через мікрореактор тече потік газової суміші, витрата якого дорівнює Q_{Π}^0 , а також з постійним значенням концентрації горючої речовини. Потік продуктів каталітичного згорання, який виходять від мікрореактора, впливає на термоелектричний вимірювальний перетворювач, він транспортує тепловий потік $Q_{\Pi c}$.

У стаціонарному режимі роботи надходження та відведення теплової енергії є однаковими, а величина температури потоку газової суміші є постійною на виході мікрореактора.

Якщо має місце зміна об'ємної витрати газу, що аналізується, питомої теплоти згорання, концентрації або одночасно зазначених параметрів, то величина температури під час каталітичного згорання змінюється. Аналітичне рівняння для визначення постійної часу τ перехідного процесу має вигляд:

$$C \frac{d(\Delta t)}{d\tau} = \Delta\Omega_{\Pi}^0 - \Delta\Omega_{\Pi c} + \Delta\Omega_p,$$

де $\Delta\Omega_p$ – зміна величини теплового потоку, що обумовлено каталітичною реакцією під час згорання вуглеводнів;

$\Delta\Omega_{\Pi c}$ – зміна величини теплового потоку, що обумовлено продуктами згорання;

$\Delta\Omega_{\Pi}^0$ – зміна величини теплового потоку, що обумовлено потоком газу, який аналізується;

C – теплова ємність мікрореактора;

Якщо перехідний процес обумовлений появленням в потоці газової суміші вуглеводню під час ступінчастої зміни його концентрації, то величину $\Delta\Omega_p$ можна розрахувати як:

$$\Delta\Omega_p = \varphi \cdot \alpha \cdot \theta \cdot Q_{\Pi}.$$

Значення теплової ємності мікрореактора визначається через об'єм каталізатором зі застосуванням формули:

$$C = V_{\kappa} \cdot c_{\text{кат}},$$

де $c_{\text{кат}}$ – теплоємність каталізатора під час дії температури в мікрореакторі.

Величина теплового потоку, який потрапляє до мікрореактора з газовою сумішшю, що аналізується, під час дії постійної об'ємної витрати є постійною величиною, тому $\Delta\Omega_{\Pi}^0 = 0$. Отже, з обліком цього факту, визначено:

$$\Delta\Omega_{\Pi\kappa} = B \cdot \Delta t,$$

залежність, якщо $\psi = 0$, можна спростити до такого вигляду:

$$V_{\kappa} \cdot c_{\text{кат}} \cdot \frac{d(\Delta t)}{d\tau} + B \cdot \Delta t = \varphi \cdot \alpha \cdot \theta \cdot Q_{\Pi}.$$

Якщо розділити праву та ліву частину цього рівняння на B , то отримаємо:

$$\frac{V_{\kappa} \cdot c_{\text{кат}}}{B} \cdot \frac{d(\Delta t)}{d\tau} + \Delta t = \varphi \cdot \alpha \cdot \theta \cdot \frac{Q_{\Pi}}{B}.$$

Це рівняння також можна спростити, якщо одну з величин α або θ прийняти як постійну, то:

– якщо $\alpha = \text{const}$, то

$$T_p \cdot \frac{d(\Delta t)}{d\tau} + \Delta t = K_{\theta}^p \cdot \theta,$$

– якщо $\theta = \text{const}$, то

$$T_p \cdot \frac{d(\Delta t)}{d\tau} + \Delta t = K_\alpha^p \cdot \theta.$$

де $K_\alpha^p = \frac{\varphi \cdot Q_{\Pi} \cdot \theta}{B}$ – коефіцієнт перетворення мікрореактора щодо зміни об'ємної концентрації газового компонента суміші, що вимірюється;

$K_\theta^p = \frac{\varphi \cdot Q_{\Pi} \cdot \alpha}{B}$ – коефіцієнт перетворення мікрореактора щодо зміни нижньої межі об'ємної питомої теплоти згоряння;

$$T_p = \frac{V_k \cdot c_{\text{кат}}}{B} \text{ – постійна часу мікрореактора.}$$

Зі застосуванням теорії автоматичного керування [11, 12] динамічні властивості можна описати інерційною ланкою першого порядку. Отже, функції передачі мікрореактора під час зміни величин α або θ , відповідно $W_\alpha^p(p)$ та $W_\theta^p(p)$, та будуть мати такий вигляд:

$$W_\alpha^p(p) = \frac{K_\alpha^p}{T_p \cdot p + 1};$$

$$W_\theta^p(p) = \frac{K_\theta^p}{T_p \cdot p + 1}.$$

Якщо зіставити, що функція передавання для малоінерційного термоелектричного вимірювального перетворювача має наступний вигляд:

$$W_T(p) = \frac{K_T}{T_T \cdot p + 1},$$

де T_T – постійна часу термоелектричного вимірювального перетворювача.

Функція передачі термохімічного вимірювального перетворювача, який має в своєму складі дві послідовно ввімкнених динамічних ланок (мікрореактора та термоелектричного вимірювального перетворювача), під час визначення величин α або θ , мають наступний вигляд:

$$W_{\alpha}(p) = W_{\alpha}^p(p) \cdot W_T(p) = \frac{K_{\alpha}^p \cdot K_T}{(T_p \cdot p + 1) \cdot (T_T \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{K_{\alpha}}{(T_p \cdot p + 1) \cdot (T_T \cdot p + 1)};$$

$$W_{\theta}(p) = W_{\theta}^p(p) \cdot W_T(p) = \frac{K_{\theta}^p \cdot K_T}{(T_p \cdot p + 1) \cdot (T_T \cdot p + 1)} =$$

$$= \frac{K_{\theta}}{(T_p \cdot p + 1) \cdot (T_T \cdot p + 1)},$$

де $K_{\alpha} = K_{\alpha}^p \cdot K_T$ – коефіцієнт перетворення термохімічного вимірювального перетворювача за об'ємною концентрацією аналізованого компонента газової суміші;

$K_{\theta} = K_{\theta}^p \cdot K_T$ – коефіцієнт перетворення термохімічного вимірювального перетворювача за нижньою об'ємною питомою теплотою згорання;

У зазначених випадках динамічні властивості термохімічного вимірювального пристрою можна описати динамічною характеристикою інерційної ланки, що має другий порядок.

Під час послідовного включення інерційних ланок першого порядку значення еквівалентної постійної часу з величиною відносної похибки, значення якої не більше $\pm 8\%$, можна визначити як сума двох постійних часу інерційних ланок першого порядку [13]:

$$T_d = T_p + T_T.$$

Отже, наведені функції перетворення можна записати наступним чином:

$$W_{\alpha}(p) = \frac{K_{\text{д}}}{T_{\text{д}} \cdot p + 1};$$

$$W_{\theta}(p) = \frac{K_{\text{д}}}{T_{\text{д}} \cdot p + 1}.$$

Під час застосування зазначених допущень, динамічні властивості термохімічного вимірювального пристрою концентрації газових компонент можна описати зі застосуванням динамічної характеристики інерційної ланки першого порядку.

Під час протікання реакції каталітичного згоряння застосовується тільки тонкий шар гранул каталізатора [14]. Отже, значення постійного часу $T_{\text{р}}$ можна визначити не загальним обсягом каталізатора, а тільки обсягом зазначеного шару. Аналітичний опис обсягу є доволі складними окремим завданням.

2.2 Оцінка метрологічних характеристик термохімічного вимірювального перетворювача

Термохімічний вимірювальний перетворювач застосовується для визначення нижчої за об'ємом величини питомої теплоти згоряння газів, масової концентрації вуглеводнів у атмосферному повітрі, а також величини об'ємної концентрації газів. Найбільш важливими є перше та друге застосування.

З аналізу розробленої математичної моделі характеристики перетворення термохімічного вимірювального перетворювача можна зробити висновок, що модель розроблено з обліком конструктивних параметрів: об'єм $V_{\text{к}}$ та просвітленість χ каталізатора, коефіцієнт перетворення термоелектричного

вимірювального перетворювача K_T , режимів роботи вимірювального перетворювача: величина абсолютної температури T , енергія активації каталізатора E , об'ємні витрати $Q_{\text{п}}$ потоку газової суміші, що аналізується, величина теплоємності газового потоку B , значення концентрації α горючого газу, що вимірюється, а також хімічними та фізичними властивостями газу: нижня межа питомої об'ємної теплоти згоряння θ .

Під час застосування режиму роботи каталітичного мікрореактора для забезпечення повного згоряння горючих газів у аналізованій газовій суміші, якщо $\varphi=1$, то зміна параметрів E , $V_{\text{к}}$, T та χ не впливають на величину вихідного сигналу термохімічного вимірювального перетворювача. Якщо застосовується імпульсний режим роботи термохімічного вимірювального перетворювача необхідно здійснювати облік постійної за обсягом аналізованої проби газу $V_{\text{п}}$. Отже, значення концентрація α аналізованого газового компоненту суміші в потоці газу-носія однаково змінюється під час вимірювання. У таких умовах на величину вихідного сигналу термохімічного вимірювального перетворювача впливає величина об'ємної витрати газу-носія $Q_{\text{п}}$, значення коефіцієнту перетворення K_T , а також теплоємність потоку газу B , що визначається через витрати потоку газу.

За допомогою розробленої математичної моделі термохімічного вимірювального перетворювача можна оцінити величину похибки вимірювання під час при роботі в імпульсному та безперервному режимах його роботи.

Під час роботи в безперервному режимі здійснюється аналіз вихідного сигналу термохімічного вимірювального перетворювача, як результат непрямого способу вимірювання, з обліком того, що характеристика перетворення має логарифмічну залежність. Отже, для визначення величини відносної похибки вимірювання значення вихідного сигналу термохімічного перетворювача $\delta_{\text{д}}$ застосовується така формула:

$$\delta_{\text{д}} = \sqrt{\delta^2(K_T) + \delta^2(Q_{\text{п}}) + \delta^2(B)},$$

де $\delta(B)$ – відносна похибка визначення величини теплоємності потоку газу, що обумовлено похибкою підтримування об'ємної витрати аналізованої суміші;

$\delta(Q_{\Pi})$ – відносна похибка визначення підтримування об'ємної витрати аналізованої газової суміші;

$\delta(K_T)$ – відносна похибка визначення вихідного сигналу термохімічного вимірювального перетворювача.

Для кількісної оцінки величини відносної похибки вимірювання вихідного сигналу термохімічного перетворювача застосовуються величини відносних похибок, які взято з довідників, а саме: величина відносної похибки вимірювання вихідного сигналу термохімічного перетворювача складає $\delta(K_T) = \pm 0,1\%$; значення відносної похибки забезпечення підтримування витрати потоку газу, якщо застосовується стандартний стабілізатор витрат, становить $\delta(Q_{\Pi}) = \pm 1\%$, величина відносної похибки забезпечення підтримування теплоємності потоку $\delta(B) = \pm 1\%$. З обліком наведених значень розраховано величину відносної похибки вимірювання вихідного сигналу термохімічного перетворювача δ_d , яка дорівнює $\pm 1,5\%$.

Для здійснення вимірювання вихідного сигналу термохімічного перетворювача застосовується нормуючий перетворювач, а для перетворення до вимірювального значення вихідної напруги до цифрового формату використовується цифровий вольтметр або мікроконтролер з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем.

Величина відносної похибки вимірювання вихідного сигналу нормуючого перетворювача $\delta_{\Pi\Pi}$ становить не більше $\pm 0,25\%$, а значення відносної похибки вимірювання вихідного сигналу цифровим вольтметром складає не більше $\pm 0,25\%$, величиною похибки мікроконтролеру з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем можна знехтувати. Отже, зі застосуванням формули статистичного підсумовування, для оцінки величини похибки термохімічного вимірювального перетворювача, в якому здійснення вимірювання вихідного

сигналу відбувається нормуючим перетворювачем та цифровим вольтметром, можна записати таку формулу:

$$\delta = \sqrt{\delta_{\text{д}}^2 + \delta_{\text{нп}}^2 + \delta_{\text{п}}^2}.$$

З обліком наведених значень відносних похибок окремих блоків визначено значення відносної похибки термохімічного вимірювального перетворювача, величина якої складає $\delta = \pm 1,54 \%$.

Якщо значення вихідного сигналу термохімічного перетворювача вимірюється зі застосуванням нормуючого перетворювача та мікроконтролера з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем, величину відносної похибки термохімічного вимірювального перетворювача можна оцінити за такою формулою:

$$\delta = \sqrt{\delta_{\text{д}}^2 + \delta_{\text{нп}}^2}.$$

Величина цієї похибки складає $\delta = \pm 1,52 \%$.

З аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що вторинні вимірювальні перетворювачі вихідного сигналу термохімічного перетворювача практично не впливають на загальне значення відносної похибки результату вимірювання.

Для здійснення оцінки величини похибки вимірювання вихідного сигналу термохімічного перетворювача, який працює в імпульсному режимі з обліком того, що об'ємна витрата $Q_{\text{п}}$ дорівнює витраті газу-носія $Q_{\text{г-н}}$, то зміну амплітудного значення імпульсного вихідного сигналу ΔU^{α} від розглянутих параметрів можна визначити зі застосуванням співвідношення:

$$\Delta U^{\alpha} = \frac{K_{\text{т}} \cdot Q_{\text{г-н}} \cdot \theta \cdot \alpha_{\text{м}}}{B},$$

де α_M – максимальне значення концентрації аналізованого компонента газової суміші в потоці газу-носія.

Це співвідношення можна представити в такому вигляді:

$$\Delta U^\alpha = \frac{2 \cdot K_T \cdot \theta \cdot V_\Pi}{(\tau_2 - \tau_1) \cdot B}.$$

Під час дії імпульсного введення постійної за обсягом V_Π аналізованої газової проби тривалість половини імпульсного сигналу можна розрахувати за таким співвідношенням [15]:

$$\frac{\tau_2 - \tau_1}{2} = \frac{\varepsilon}{L} \cdot \sqrt{D \cdot \tau^3},$$

де τ – час руху аналізованої газової суміші за трубкою;

D – коефіцієнт дифузії аналізованої суміші газу в газі-носії;

L – довжина трубки, за якою перекачується потік газу-носія з постійною за обсягом пробою аналізованою газовою суміші;

ε – постійний коефіцієнт, величина якого дорівнює 3,34.

Значення часу руху газової суміші за трубкою можна розрахувати з обліком параметрів трубки, а також величини об'ємної витрати газу-носія:

$$\tau = \frac{L \cdot f}{Q_{\Gamma-H}},$$

де f – площа поперечного перетину трубки.

Зі застосуванням наведених співвідношень можна отримати:

$$\tau_2 - \tau_1 = \frac{2 \cdot \varepsilon}{L} \cdot \frac{\sqrt{D \cdot (L \cdot f)^3}}{Q_{\Gamma-H}^{1,5}}.$$

Отже, зміну амплітудного значення імпульсного вихідного сигналу можна визначити за таким співвідношенням:

$$\Delta U^{\alpha} = a \cdot \frac{\kappa_{\tau} \cdot \theta \cdot Q_{\Gamma-H}^{1,5}}{B},$$

де $a = \frac{V_{\Pi} \cdot L}{\sqrt{D \cdot (L \cdot f)^3}}$ – постійний коефіцієнт.

Величину відносної похибки вимірювання вихідного сигналу термохімічного перетворювача в імпульсному режимі роботи можна визначити за формулою:

$$(\delta_{\text{д}})_{\text{им}} = \sqrt{\delta^2(K_{\text{т}}) + 2,25 \cdot \delta^2(Q_{\Gamma-H}) + \delta^2(B)}.$$

За допомогою коефіцієнт 2,25 у формулі виконується облік того, що об'ємна витрата $Q_{\Gamma-H}$ має показник ступеня 1,5 в наведеному вище співвідношенні.

Для розрахунку величини відносної похибки термохімічного вимірювального перетворювача, який працює в імпульсному режимі, використовується наступні формули:

$$(\delta)_{\text{им}} = \sqrt{(\delta_{\text{д}})_{\text{им}}^2 + (\delta_{\text{нп}})^2 + (\delta_{\text{п}})^2};$$

$$(\delta)_{\text{им}} = \sqrt{(\delta_{\text{д}})_{\text{им}}^2 + (\delta_{\text{нп}})^2}.$$

На базі результатів розрахунків похибок окремих блоків вимірювального кола термохімічного перетворювача отримано величину відносної похибки, значення якої дорівнює $\pm 1,8\%$.

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ТЕРМОХІМІЧНОГО КОНТРОЛЮ ГАЗІВ

3.1 Розробка конструкції термохімічного вимірювального перетворювача теплоти згорання газів

На базі результатів попередніх досліджень розроблено конструкцію термохімічного вимірювального перетворювача. Основним критерієм щодо розробки термохімічного перетворювача є мінімізація геометричних розмірів перетворювача з обліком необхідної величини інерційності та чутливості.

Конструкцію розробленого термохімічного вимірювального перетворювача наведено на рис. 3.1. Перетворювач має в своєму складі корпус 7, верхню 3 та нижню 13 кришки, які виготовлено з нержавіючої сталі. У верхній кришці у тримачі 2, який має двоканальну керамічну трубкою 1, розташовано батарейний термохімічний вимірювальний перетворювач. Цей перетворювач складається з чотирьох хромель-копель термопар, діаметр електродів який становить 0,5 мм, а також робочого спаю з діаметром 1,0 мм. Всередині корпусу на нижній кришці розташовано мікрореактор, який є кварцовою трубкою 5, внутрішнім діаметром якої дорівнює 8 мм. Довжина цієї трубки становить 50 мм, її заповнено платино-паладієвим каталізатором 11 у вигляді гранул. Каталізатор розташовано між сітками 16 та 6, які виготовлено з нержавіючої сталі. Зовнішні кварцові трубки розташовано ніхромовий нагрівач 10. Для підключення джерела живлення нагрівача застосовуються металеві капіляри 17 та 8, які розташовано в одноканальних керамічних трубках 15 та 9. Робочі спаї термопар розташовано біля торця верхньої кришки кварцової трубки.

Канали 14 та 18 застосовуються для підключення потоків газової суміші, що аналізується. У верхній кришці 3 зроблено отвори 19, через які відводяться продукти горіння.

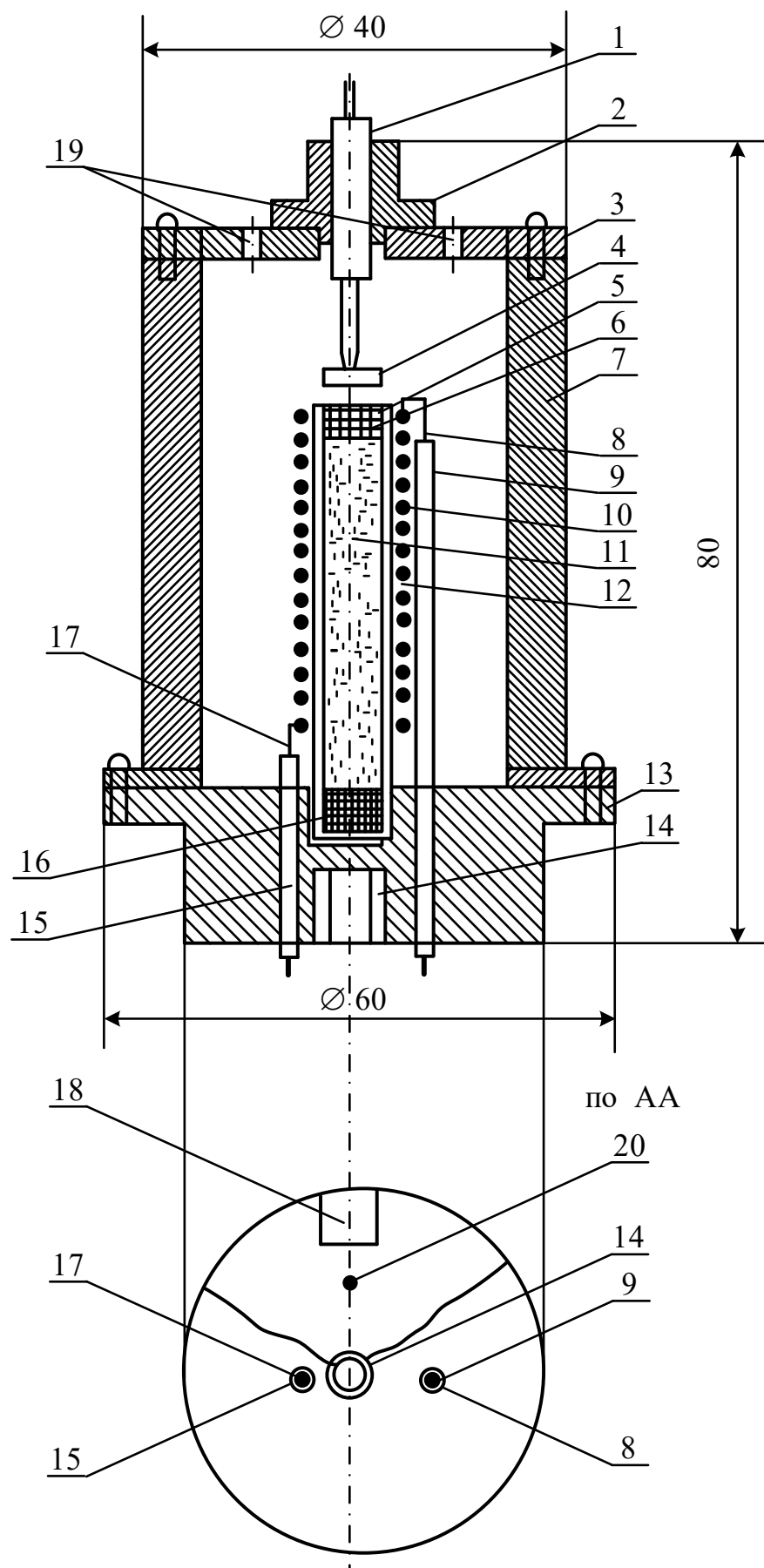


Рисунок 3.1 – Конструкція термохімічного вимірювального перетворювача теплоти згорання газів

Розроблений термохімічний вимірювальний перетворювач безпосередньо застосовується для визначення нижньої межі об'ємної питомої теплоти згоряння газової суміші, яка має в своєму складі горючі газові компоненти. Також, його можна застосовувати для вимірювального контролю сумарної концентрації горючих газів у суміші, що аналізується. Якщо сумісно застосувати аналізатор щільності газів, то за допомогою термохімічного вимірювального перетворювача можна виконувати комплексну оцінку якості горючих газів, що визначається зі застосуванням індексу Воббе:

$$IB = \frac{Q}{\sqrt{\rho_{\text{відн}}}}.$$

Розроблений термохімічний вимірювальний перетворювач може функціонувати як у безперервному, так і в імпульсному режимі подачі аналізованої газової суміші.

Термохімічні вимірювальні пристрої, які розроблено на базі термохімічних перетворювачів, можуть бути в лабораторному та автоматичному виконанні. Відмінність полягає в тому, що автоматичний вимірювальний пристрій повинен мати вибухобезпечне виконання. Під час функціонування в імпульсному режимі роботи до складу вимірювального пристрою повинен входити автоматичний дозатор суміші газів, що аналізується. У теперішній час існує доволі великий вибір корпусів вимірювальних пристроїв, які мають вибухобезпечне виконання, а також прецизійні автоматичні дозатори газової суміші, що аналізується. Зазначені фактори істотно спрощують розробку технічних засобів термохімічного вимірювального контролю горючих газів.

3.2 Розробка термохімічного вимірювального пристрою теплоти згорання газів

Базовим показником якості горючих газових сумішей є нижня об'ємна питома теплота згорання компонентів у суміші. Вимірювальний контроль зазначеного показника виконується на підприємствах газовидобувної промисловості під час здійснення комерційних операцій з природним газом, а також під час дослідження процесів газифікації та піролізу матеріалів, що містять вуглеводні.

У теперішній час для здійснення вимірювального контролю теплоти згорання горючих газів застосовуються калориметри, які визначають значення теплоти згорання цих газів, калориметри непрямого способу вимірювання, а також хроматографи.

Найпростішими є термохімічні калориметри, які мають доволі велику інерційність, а також низьку точність результатів вимірювання. Розроблений термохімічний вимірювальний пристрій відрізняється тим, що теплота згорання вимірюється за величиною температури під час каталітичного згорання. У складі пристрою застосовується термохімічний перетворювач і імпульсний режим подачі проби газової суміші, що аналізується [16].

Схему термохімічного вимірювального пристрою теплоти згорання газів наведено на рис. 3.2. Вимірювальний пристрій має в своєму складі: блок з підготовки аналізованої газової суміші I, аналітичний вимірювальний блок II та блок обробки та індикації вимірювальної інформації III.

Блок з підготовки аналізованої газової суміші має в своєму складі фільтр 1, який застосовується для осушення газової суміші, яка подається від компресора під тиском, величина якого складає 0,2 МПа, через стабілізатори тиску 2, а також стабілізатори витрати 3 та 4.

Потік аналізованої суміші від стабілізатора витрат 4 застосовується як газ-носій, а потік газової суміші зі стабілізатора витрат 3 використовується як допоміжним.

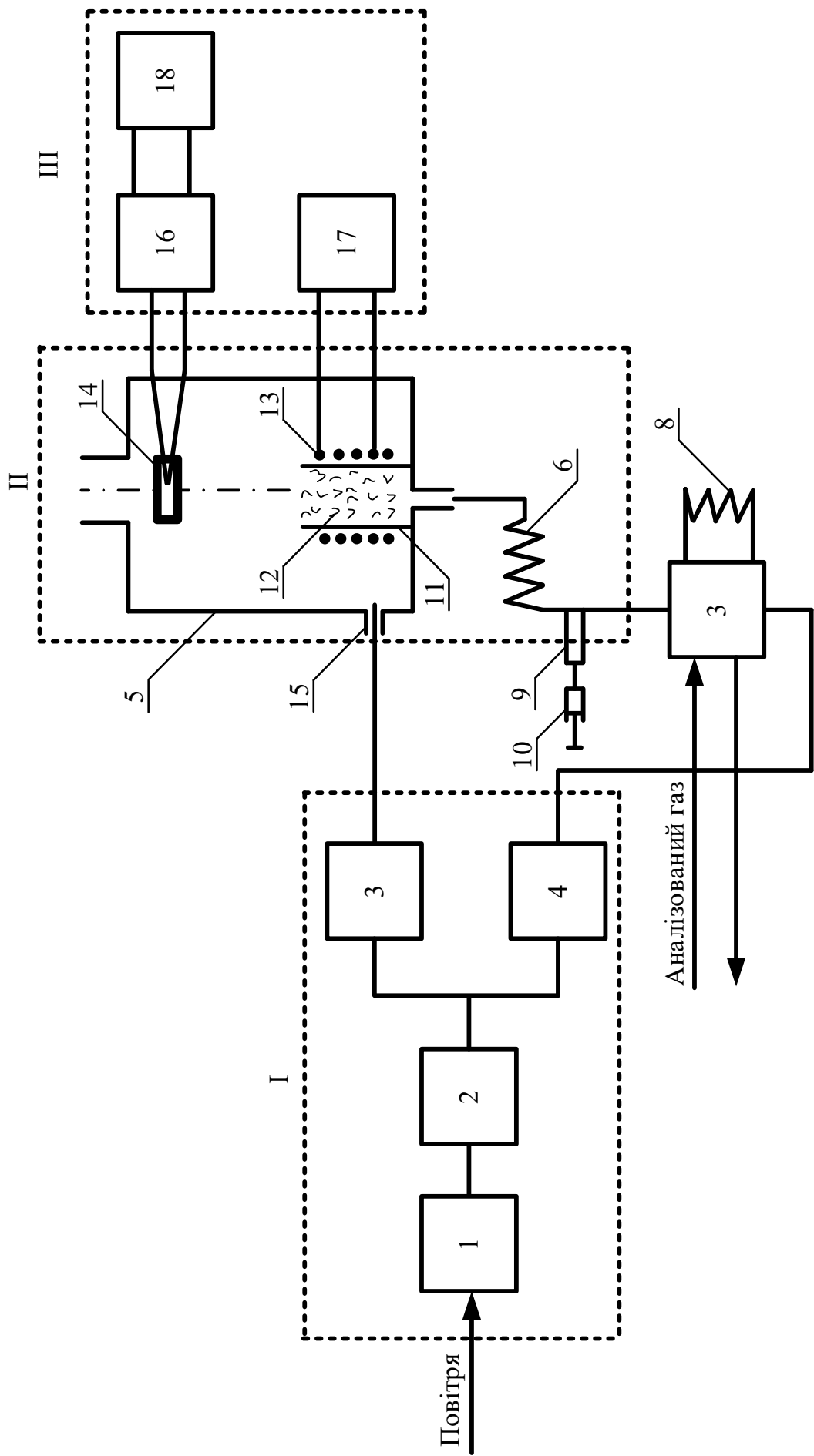


Рисунок 3.2 – Схема термохімічного вимірювального пристрою теплоти згорання газів

Аналітичний вимірювальний блок II має в своєму складі термохімічний вимірювальний перетворювач 5, який базується на вимірюванні значення температури під час каталітичного згоряння. Також до складу блоку II входить колонку 6, яка є трубкою, що виготовлено з нержавіючої сталі, довжина трубки дорівнює 100 см, а її внутрішній діаметр становить 3 мм, дозатор 7 має дозованим об'єм 8, введення 9 проби газової суміші здійснюється за допомогою шприца 10.

У середині вимірювального перетворювача вздовж його осі вертикально розташовано мікрореактор 11, який виконано у вигляді трубки, довжина якої дорівнює 70 мм, а її внутрішній діаметр 8 мм. Трубку заповнено платино-паладієвим каталізатором 12 у вигляді гранул, нагрівання якого здійснюється електричним нагрівачем 13. Над верхнім торцем цієї трубки розташовано термоелектричний перетворювач 14.

Штуцер 15 розміщено в нижній частині вимірювального перетворювача, він застосовується для подачі до перетворювача допоміжного потоку. Блок обробки та індикації вимірювальної інформації III має в своєму складі нормуючий перетворювач вихідного сигналу 16, стабілізоване джерело електричного живлення 17 нагрівача 13 та мікроконтролер 18 з інтегрованим аналого-цифровим перетворювачем.

У термохімічному вимірювальному пристрої теплоти згоряння застосовується імпульсне введення проби аналізованої газової суміші, що визначає режими «підготовка» та «аналіз» електронного пристрою.

У режимі роботи «підготовка» повітряні потоки, що стабілізовані за об'ємною витратою зі застосуванням стабілізаторів 3 та 4 надходять до штуцера 15 та дозатора 7. Аналізований потік від стабілізатора витрати 4 передається до дозатора 7, а від нього до колонки 6 та мікрореактора 11. Мікрореактор здійснює нагрівання зі застосуванням електричного нагрівача 13, який живиться від стабілізованого джерела живлення 17. Під час проходження через мікрореактор здійснюється нагрівання потік повітря-носій, який потім спрямовується до термоелектричного перетворювача 14. Також через штуцер

15 камери вимірювального перетворювача надходить допоміжний потік. Вихідний сигнал термопар U_0 , який має місце під час дії зазначених умов, визначається як початковий рівень (див. рис. 3.3). Значення цього сигналу вимірюється за допомогою нормуючого перетворювача 16 та перетворюється до цифрового формату аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера.

Під час дії режиму роботи «аналіз» зі застосуванням дозатора 7, обсяг якого складає 8, з об'ємом трубки від 0,5 до 1,0 мл, до потоку повітря-носії вводиться величина постійної за обсягом проби аналізованої газової суміші. Ця проба передається до колонки 6. Постійну за обсягом пробу газової суміші можна вводити зі застосуванням пристрою введення 9 під час проколу ущільнення з гуми каліброваним шприцом 10. Під час введенні проби газової суміші порушується режим подачі потоку газу-носія, що обумовлює незначні зміни у вихідному сигналі перетворювача (див. рис. 3.3). У складі вимірювального перетворювача застосовується колонка 6, використання якої зменшує вплив накладання сигналу, що обумовлено введенням проби та інформаційної складової вихідного сигналу вимірювального перетворювача.

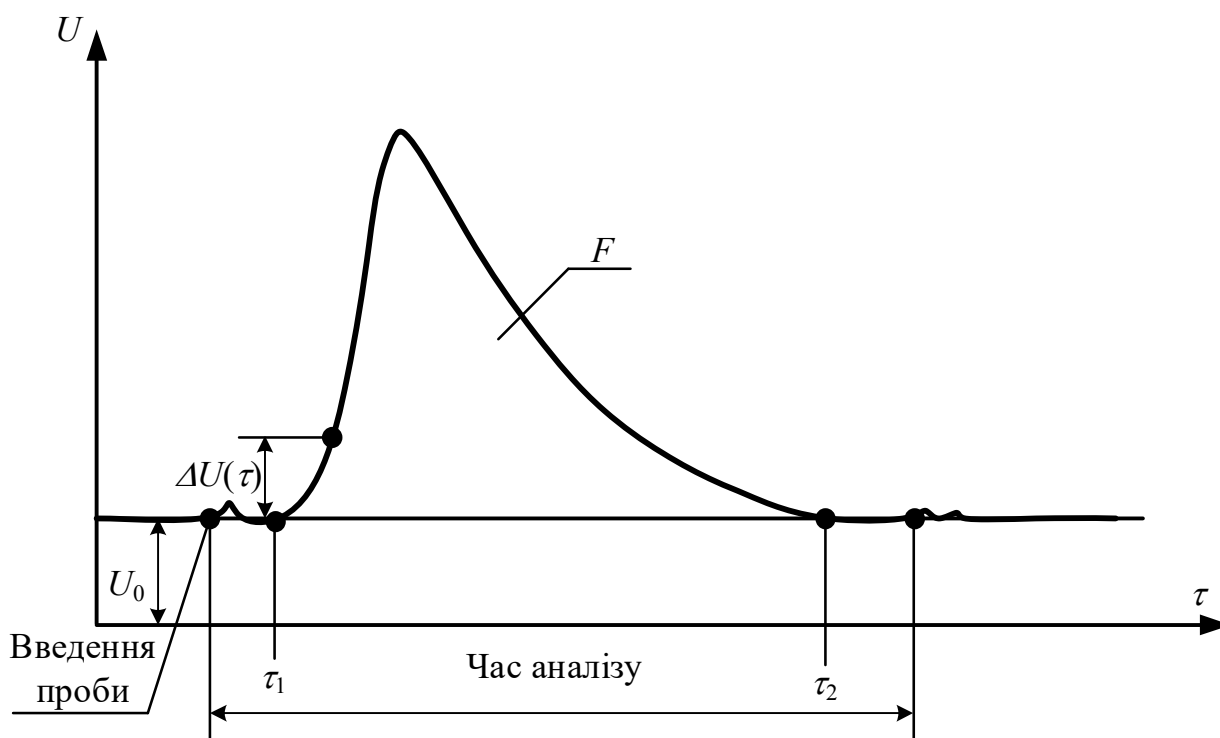


Рисунок 3.3 – Форма вихідного сигналу термохімічного перетворювача

Введена до потоку аналізована проба газу переміщується до колонки та надходить до вимірювального перетворювача, де має місце каталітичне згоряння, яке обумовлює підвищення значення температури потоку газу, який виходить від мікрореактора. Величина температура мікрореактора підтримується на рівні 400°C, що забезпечується окислення усіх вуглеводнів.

Постійність величини об'ємної витрати повітря-носія дає змогу забезпечити подачу аналізованої проби газу до мікрореактору з постійною об'ємною витратою під час дії різного складу, що достатньо складно забезпечити під час безперервної подачі газової суміші, що аналізується, яка застосовується у вимірювальних перетворювачах. Вихідний потік газів від мікрореактора надходить до термопар, що підвищує їх температуру. Під час термokatалітичного окислення постійної за обсягом проби газової суміші, що аналізується, формується вихідний сигнал вимірювального перетворювача, який має форму імпульсу, що наведено на рис. 3.3.

Під час роботи термохімічного вимірювального перетворювача застосовується як газ-носії повітря, що не обумовлює зміни вихідного сигналу перетворювача. Величину площі та амплітуда вихідного сигналу вимірювального перетворювача можна розрахувати зі застосуванням формул:

$$S = K_s \cdot \theta;$$

$$\Delta U_M = K_U \cdot \theta,$$

де K_s та K_U – коефіцієнти перетворення за площею та амплітудою.

З аналізу наведених вище формул, впливає що величину площі, а також амплітуди імпульсу можна застосовувати для розрахунку значення нижчої об'ємної питомої теплоти згоряння газів. Проте лінійна функціональна залежність між площею та об'ємом аналізованої проби має місце під час дії великих значення об'єму. Отже, для одержання вимірювальної інформації щодо нижньої об'ємної питомої теплоту згоряння газів застосовується площа

сигналу. Для підвищення точності результатів вимірювання необхідно під час виконання кожного з вимірювань додатково визначати значення нижчої об'ємної питомої теплоти згоряння еталонного газу. За результатами зазначених двох вимірювань визначається величина нижчої об'ємної питомої теплоти згоряння газу, що аналізується, зі застосуванням такого співвідношення:

$$\theta = \frac{S}{S_E} \cdot \theta_E,$$

де S_E – площа сигналу, величина якої відповідає еталону;

θ_E – нижня об'ємна питома теплота згоряння газу, який є еталонним.

Як еталонний газ можна застосовувати природний газ або метан, атестація якого здійснюється за нижчою межею об'ємної питомої теплоти згоряння, що виконується зі застосуванням хроматографа.

Термохімічний вимірювальний пристрій визначення теплоти згорання має наступні технічні характеристики: об'ємна витрата допоміжного потоку повітря складає 2 л/година; величина об'ємної витрати повітря-носія знаходиться в межах від 1 до 2 л/годину; обсяг аналізованої проби газу під час введення зі застосуванням дозатора складає 20 мл; обсяг аналізованої проби газу під час введення зі застосуванням шприца може змінюватися в діапазоні від 0,5 до 1,0 мл; діапазон вимірювань складає від 0 до 50 10^3 кДж/± 2%.

Дослідження термохімічного вимірювального пристрою нижчої межі об'ємної питомої теплоти згоряння необхідно виконувати зі застосуванням газових сумішей, у яких відоме значення теплоти згоряння. Ці суміші необхідно подавати до вимірювального перетворювача зі застосуванням об'ємного дозатора. Під час досліджень необхідно застосовувати газові суміші, до складу яких входять вуглеводнів, а також азот і повітря. Однією з основних переваг розробленого пристрою є те, що забезпечується визначення теплоти згоряння малої кількості газу. Це є визначальним під час дослідження процесів газифікації, а також піролізу матеріалів, які мають в своєму складі вуглеводні.

3.3 Розробка термохімічного вимірювального пристрою концентрації вуглеводнів у повітрі

У розробленого термохімічного вимірювального перетворювача інформаційна складова вихідного сигналу визначає нижню межу об'ємної питомої теплоти згоряння горючих газів. Це дозволяє розв'язувати завдання вимірювання сумарної концентрації вуглеводнів, що є однією з розповсюджених завдань автоматичного вимірювального контролю. Зазначене завдання застосовується в системах моніторингу параметрів довкілля та визначення вибухонебезпечних концентрацій у промисловості.

Вимірювальний контроль загальної концентрації вуглеводнів у газовій суміші є базовим завданням газометрії свердловин під час буріння.

Залежно від величини концентрації вуглеводнів для розв'язання зазначеного завдання у теперішній час застосовуються акустичні, полум'яно-іонізаційні та термохімічні вимірювальні пристрої.

Конструкція акустичних вимірювальних пристроїв є доволі простою але визначене значення загальної концентрації вуглеводнів у аналізованій газовій суміші є наближеною. Полум'яно-іонізаційні вимірювальні пристрої зазвичай використовуються для здійснення вимірювального контролю доволі малих значень концентрації вуглеводнів у системах моніторингу параметрів довкілля. Ці пристрої мають доволі складну конструкцію та потребують застосування під час роботи пристрою водню.

Найбільшого розповсюдження отримали вимірювальні пристрої, які застосовуються в різних галузях для визначення загальної концентрації вуглеводнів у аналізованій газовій суміші, є термохімічні пристрої з чутливим пелісторним елементом. До недоліків цих пристроїв можна віднести те, що різні типи вуглеводнів окислюють на чутливих елементах не повністю, так ступінь їх окислення є різною. Тому ці термохімічні вимірювальні пристрої калібрують зі застосуванням об'ємної концентрації метану, що обумовлено недосконалістю термохімічного методу для визначення загальної концентрації

вуглеводнів у аналізованій газовій суміші .

Термохімічний вимірювальний перетворювач, який базується на визначенні температури речовин під час каталітичного згоряння з виходу реактора має на порядок меншу величину інерційності, що суттєво розширює область його використання та обумовлює можливості його застосування для визначення загальної концентрації вуглеводнів в аналізованій суміші.

Схему термохімічного вимірювального пристрою концентрації вуглеводнів наведено на рис. 3.4. Схема вимірювального пристрою має в своєму складі блок підготовки газової суміші I, вимірювальний блок II та блок обробки та індикації вимірювальної інформації III.

Блок підготовки газової суміші I має в своєму складі фільтри 1 та 2 для очищення аналізованої газової суміші від механічних домішок. Також до складу блоку I входить стабілізатор витрати суміші 3, кран 4 з штуцером 6, який використовується для підключення балона з калібрувальною сумішшю, а також стабілізатор витрати 5 з тепловим вимірювачем витрати. Характеристики цього вимірювача витрати практично не залежать від складу аналізованої газової суміші, яка може змінюватися.

Дроселі Dp_1 та Dp_2 застосовуються для визначення величини витрати допоміжного потоку в камері перетворювача, а також додаткового потоку в тому випадку, коли значення концентрації вуглеводнів в газовій суміші, що аналізується, має доволі велике значення. У вимірювальному блоці II розташовано термохімічний вимірювальний перетворювач, який має в своєму складі штуцер 7 для забезпечення подачі пробки аналізованої суміші, корпус 9, який має циліндричну форму, що виготовлену з нержавіючої сталі, а також штуцер 10, який застосовується для подачі аналізованої газової суміші.

У внутрішній камері 9 розташовано каталітичний мікрореактор 8, який виготовлений у вигляді кварцової трубки, внутрішній діаметр якої складає 8 мм, а її довжина дорівнює 70 мм. Трубку заповнено платино-паладієвим каталізатором 11 у вигляді гранул.

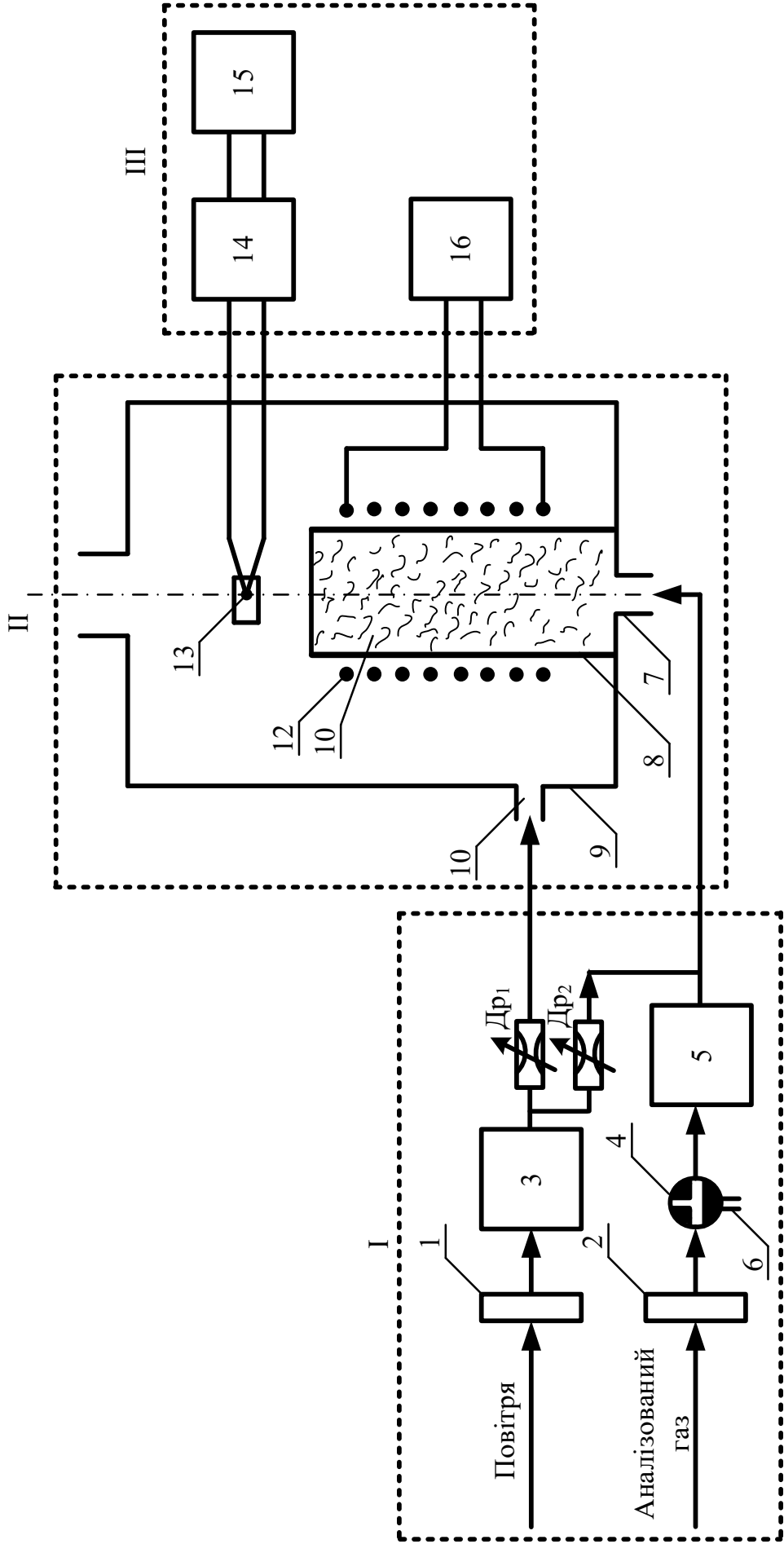


Рисунок 3.4 – Схема термодічного вимірювального пристрою концентрації вуглеводнів

Зовнішній трубки розміщено ніхромовий нагрівач 12, який здійснює нагрівання трубки до значення температури 400°C . Зверху трубки розташовано термоелектричний перетворювач 13, який здійснює вимірювання величини температури під час каталітичного згоряння.

Для вимірювання параметрів вихідного сигналу перетворювача застосований нормуючий перетворювач 14. До складу вимірювального пристрою входить також цифровий вольтметр 15. Вихідний сигнал нормуючого перетворювача передається до мікроконтролера. Для забезпечення електричного живлення нагрівача 12 застосовується стабілізованого джерело живлення 16.

Розроблений вимірювальний перетворювач є пристроєм безперервної дії. До блоку підготовки газової суміші безперервно надходить повітря під тиском та суміш газів, що має в своєму складі вуглеводні. Ці потоки очищуються від механічних домішок зі застосуванням фільтрів 1 та 2, після цього вони передаються до механічних стабілізаторів витрати 3, а потік аналізований потік газової суміші подається до електронного стабілізатора витрат 5. Зазначені потоки від стабілізаторів передаються до термoxімічного вимірювального перетворювача, який розташовано блоці вимірювання. Потік аналізованої газової суміші передається через штуцер 7 до мікрореактора 8. Також через штуцер 10 до перетворювача подається потік повітря. Зі застосуванням ніхромового нагрівача 12, живлення якого забезпечує джерело живлення 16, підтримується постійна величина температури мікрореактора 8.

Під час надходження до мікрореактора аналізованої газової суміші, до складу якої входить повітря та вуглеводні, які окислюються на каталізаторі 11. Під час цього виділяється тепло, величина якої залежить від нижчої межі об'ємної теплоти згоряння газової суміші, що обумовлює підвищення температури потоку газу, який виходить з мікрореактора 8. Зазначений потік надходить до термоелектричного перетворювача 13, що змінює величину його температури. Під час цього значення вихідного сигналу термоелектричного перетворювача підвищується. З цього сигналу за допомогою нормуючого

перетворювача 14 віднімається сигнал, який має місце на виході термоелектричного перетворювача без горючих газів в аналізованій суміші.

Інформація щодо зміни нижньої межі об'ємної питомої теплоти згорання в аналізованій газовій суміші знаходиться в різниці зазначених сигналів. Вихідний сигнал нормуючого перетворювача передається до цифрового вольтметра, який виводить до дисплею результат вимірювання загальної концентрації вуглеводнів у аналізованій газовій суміші.

Повітря, яке подається через штуцер 10 до камери перетворювача, швидко виводить продуктів каталітичного окислення.

Дослідження термохімічного вимірювального перетворювача загальної концентрації вуглеводнів необхідно здійснювати зі застосуванням газових сумішей, які мають відомі значення концентрації вуглеводнів. Атестування зазначених газових сумішей необхідно виконувати хроматографом.

Розроблений електронний вимірювальний пристрій дозволяє одержувати інформацію щодо загальної концентрації вуглеводнів у аналізованій газовій суміші, що спрощує процес калібрування вимірювача.

Розроблений електронний вимірювальний пристрій має наступні технічні характеристики:

- діапазон вимірювання від 0 до 100 г/м³;
- відносна похибка результату вимірювання складає ± 3 %;
- постійна часу вимірювання дорівнює 30 с.

ВИСНОВКИ

Удосконалення засобів термохімічного вимірювального контролю газових сумішей необхідно спрямовувати на розробку та створення вимірювальних пристроїв, вихідний сигнал яких залежить від теплоти згоряння газів та не залежить від властивостей компонентів газової суміші до реакції каталітичного окислення. Удосконалені пристрої повинні мати широкі функціональні можливості, високу часову стабільність та підвищену швидкодію вимірювання.

Значення вихідного сигналу вимірювального перетворювача під час стабілізації параметрів визначається нижньою межею об'ємної питомої теплоти згоряння газів. Зазначений показник є базовим для визначення якості горючих газових сумішей.

Розроблено математичну модель термохімічного вимірювального перетворювача, яка базується на динамічних властивостях інерційних кіл першого порядку.

Під час функціонування термохімічного вимірювального перетворювача в імпульсному режимі за величиною амплітуди та площі вихідного сигналу можна визначити нижню межу об'ємної питомої теплоти згоряння газу.

Термохімічний вимірювальний перетворювач базується на вимірюванні значення температури продуктів каталітичного окислення, що дозволяє застосовувати його для визначення показників якості горючих газів.

Термохімічний перетворювач також можна застосовувати для створення швидкодіючих вимірювачів нижньої межі об'ємної питомої теплоти згоряння газів, а також загальної концентрації вуглеводнів.

Термохімічний вимірювальний перетворювач у поєднанні з аналізатором щільності газів можна застосовувати для розробки вимірювачів якості горючих газів, таких як нижня межа об'ємної питомої теплоти згоряння, щільність газів та індекс Воббе.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фарзани, И.Г. Автоматические детекторы газов и жидкостей/ И.Г. Фарзани, Л.В. Илясов, А.Ю. Азим-Заде. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 96 с.
2. Бражников, В.В. Детекторы для хроматографии / В.В. Бражников. – М.: Машиностроения, 1992. – 320 с.
3. Щербань, А.Н. Методы и средства контроля рудничного газа (метан) / А.Н. Щербань, Н.Н. Фурман. – К.: Наук. Думка, 1965. – 412 с.
4. Файнберг, М.М. Автоматические газоанализаторы / М.М. Файнберг. – М.: Металлургиздат, 1946 – 328 с.
5. Тарасевич, В.Н. Металлические терморезисторные преобразователи горючих газов/ В.Н. Тарасевич. – К.: Наукова думка, 1988. – 284 с.
6. Профос, П. Измерения в промышленности: Справочник / под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия, 1980. – 648 с.
7. Франко, Р.Т. Газоаналитические приборы и системы / Р.Т. Франко, Б.Г. Кадук, А.А. Кравченко. – М.: Машиностроение, 1983. – 128 с.
8. Павленко, В.А. Газоанализаторы / В.А. Павленко. – Л.: Машиностроение, 1965. – 296 с.
9. Матросова, Н.С. Отечественные термохимические газоанализаторы и их сопоставление с зарубежными / Н.С. Матросова // Сб. Автоматические газоанализаторы. – М.: ЦИНТИЭПП, 1961. – 63 – 83 с.
10. Аль-Дахми, А.М. Математическая модель динамической характеристики термохимического детектора теплоты сгорания газов / А.М. Аль-Дахми, Л.В. Илясов // Вестник ТвГТУ, – 2012. – № 180 (20). – С. 35 – 39.
11. Ключев, А.С. Автоматическое регулирование / А.С. Ключев. – М.: Энергия, 1967. – 343 с.

12. Мееров, М.В. Теория автоматического регулирования и авторегуляторы: учеб. пособие для вузов / М.В. Мееров, В.Г. Дианов. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 264 с.

13. Калмановский, В.И. К вопросу определения постоянной времени систем хроматографического детектирования / В.И. Калмановский // Сб. Газовая хроматография. – М. НИИТЭХим, 1979. – № 1. – С. 76 – 79.

14. Бесков, В.С. Общая химическая кинетика: учеб. для вузов / В.С. Бесков. – М.: ИКЦ, 2005. – 452 с.

15. Киселев, А.В. Физико-химические применение газовой хроматографии / под ред. А.В. Киселев. – М.: Химия, 1973. – 250 с.

16. Фарзане, Н.Г. Импульсный ввод анализируемого газа в автоматических анализаторах/ Н.Г. Фарзане, Л.В. Илясов // Измерительная техника, 1971. – №4. – С. 34 – 38.

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

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним комп'ютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи занавіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами 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 до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів 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 м 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-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та 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 вентильовання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

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

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за 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 від персоналу;

$Q_{\text{осв}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{ср}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{уст}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{уст}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

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

де n – кількість працюючих;

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

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

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

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м².

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

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

де F – площа віконних прорізів (3 x 2,5=7,5 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{HAД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

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

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 м³/год., 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. Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження 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 $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота 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 в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

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

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 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 світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається 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 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

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) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$