

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем

«На правах рукопису»  
УДК 621.307.13

«До захисту допущено»  
В.о. завідувача кафедри  
д.т.н., проф. Н. М. Защепкіна  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
на тему: «Інструментально-методичне забезпечення контролю викидів  
котелень»

Виконав: студент VI курсу, групи ПН-71м  
Штифорок Євгеній Валерійович

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник:  
доцент, к.т.н. Маркіна О. М.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант з “Розроблення стартап-проекту” :  
доцент к.е.н. Бояринова К.О.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент:

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ - 2018 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

в.о завідувача кафедри

Н. М. Зашепкіна

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію

Штифорука Євгенія Валерійовича

1. Тема дисертації «Інструментально-методичне забезпечення контролю викидів котелень»

науковий керівник Маркіна Ольга Миколаївна, доцент, кандидат технічних наук,

затверджені наказом по університету від « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 року № \_\_\_\_\_.

2. Строк подання студентом дисертації « \_\_\_ » грудня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження: концентрації газів CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>.

4. Предмет дослідження: газоаналітичний інформаційно-вимірювальний комплекс процесів горіння котелень

5. Перелік питань, які мають бути досліджені

5.1 Теоретичні дослідження:

5.1.1 Ровести дослідження та аналіз впливу концентрацій від газів, що виникаю під час процесу горіння в котельях.

5.1.2 Провести дослідження відомих методів вимірювання концентрації CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>

5.1.3 Провести дослідження комплексів вимірювання концентрації CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>

5.1.4 Виконати порівняльний аналіз відомих методів та характеристик засобів для вимірювання концентрації CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>.

5.1.5 Розробити комбіновану структурну схему газоаналітичного інформаційно-вимірювального комплексу процесів горіння котелень.

5.1.6 Описати технічні вимоги до газоаналітичного інформаційно-вимірювального комплексу процесів горіння котелень.

5.1.7 Розробити інструментально-методичне забезпечення викидів котелень. Провести опис переваг, що буде досягнуто при його розробці.

## 6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

6.1 Порівняльна таблиця відомих методів та технічних засобів вимірювання концентрації CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>

6.2 Комбінована структурна газоаналітичного інформаційно-вимірювального комплексу процесів горіння котелень. Виконати опис, та налаштування кожного структурного елемента.

6.6 Виконати розрахунки точності кожного структурного елемента газоаналітичного інформаційно-вимірювального комплексу процесів горіння котелень.

6.7 Висновки.

## 7. Орієнтовний перелік публікацій:

7.1 Одна теза доповіді на міжнародних конференціях в Україні або за кордоном.

7.2 Одна стаття, що опубліковано у фаховому виданні України чи за кордоном.

## 8. Консультанти розділів дисертації:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
|        |   |                |                  |

9. Дата видачі завдання «12» жовтня 2017 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № п/п | Назва етапів виконання дипломної роботи  | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1     | Вступ, аналіз методів вимірювання  | 10.11.2017                    |          |
| 2     | Аналіз засобів вимірювання   | 10.12.2017                    |          |
| 3     | Оформлення першого розділу   | 20.12.2017                    |          |
| 4     | Обґрунтування та формалізація параметру оцінки вимірювань                          | 25.12.2017                    |          |
| 5     | Побудова лабораторного макету  | 14.01.2018                    |          |
| 6     | Виконання теоретичних досліджень   | 15.04.2018                    |          |
| 7     | Розробка методики виконання експериментів і виконання експериментальних досліджень | 25.06.2018                    |          |
| 8     | Виконання розділу стартап-проектів   | 10.09.2018                    |          |
| 9     | Оформлення пояснювальної записки   | 14.10.2018                    |          |
| 10    | Подача дисертації на попередній захист   | 20.11.2018                    |          |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

/Є. В. Штифрук/

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

/О. М. Маркіна/

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація, пояснювальна записка 103 с., 98 рисунків, 35 таблиць, 34 джерел.

За допомогою комплексу реалізовано цілодобовий безперервний моніторинг як з газовим середовищем в технологічних процесах, так і за екологічними викидами токсичних газів в атмосферу при роботі ТЕС. Впровадження системи дозволить оптимізувати процес горіння, понизити споживання палива, зменшити викиди токсичних газів на питому одиницю палива. Комп'ютерна обробка вимірювальної інформації дозволить запаковувати в архіви результати вимірювання і тим самим відслідковувати відхилення від технологічного процесу за результатами газоаналітичного контролю.

Газоаналізатор 325 ФА01 автоматично вимірює концентрацію CO, CO<sub>2</sub>, СН на вихідному газоході кожного з котлоагрегатів. Інформаційні сигнали з газоаналізатора поступають на електронний блок з цифровим табло, який встановлено всередині шафи, і одночасно передаються на комп'ютер у диспетчерську.

Таким чином комплекс дозволяє в реальному часі вимірювати склад газів фактично в зоні горіння і за результатами вимірювання корегувати співвідношення повітря/паливо для оптимізації процесів горіння і зменшення токсичних викидів в атмосферу.

**КОНТРОЛЬ ВИКИДІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ, МОНІТОРИНГ ПОВІТРЯ**

## ABSTRACT

Master dissertation, explanatory note 103 p., 98 figures, 35 tables, 34 sources.

With the help of the complex, round-the-clock continuous monitoring of both the gas environment in the technological processes and the ecological emissions of toxic gases into the atmosphere at the work of the TPP is realized. Implementation of the system will optimize the combustion process, reduce fuel consumption, reduce emissions of toxic gases per unit of fuel. Computer processing of measuring information will allow to pack the results of measurements in the archives and thus observe deviations from the technological process by results of gas analytical control.

The gas analyzer 325 FAA automatically measures the concentration of CO, CO<sub>2</sub>, CH on the output gas boiler of each boiler unit. Information signals from the gas analyzer enter the electronic unit with a digital display, which is installed inside the cabinet, and simultaneously transmitted to the computer in the control room.

Thus, the complex allows real-time measurement of the composition of gases in the actual combustion zone and, by measurement, adjust the air / fuel ratio to optimize combustion processes and reduce toxic emissions into the atmosphere.

CONTROL OF EMISSION OF THERMAL ELECTRICITY, AIR MONITORING

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДГ – допоміжний газ

АГС – аналізуєма газова суміш

ТК – трьохходовий кран

БЧЕ – блок чутливих елементів

ТС – термостабілізатор

Н – нагрівач

ДТ – датчик температур

БЖ – блок живлення

ПД - перемикач діапазону

КО, КЧ – коректор «0» і чутливості

ВВП – вторинний вимірювальний

ПВП – первинний вимірювальний

СВІ – система відображення інформації

ВС – вимірювальна схема

НП – нормуючий підсилювач

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....   | 11 |
| РОЗДІЛ 1 ВПЛИВ ВИКИДІВ ВІД ДІЯЛЬНОСТІ ТЕПЛОВИХ КОТЕЛЕНЬ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕОВИЩЕ .....   | 15 |
| 1.1 Локальний вплив теплових електростанцій .....   | 16 |
| 1.2 Глобальний вплив теплових електростанцій .....  | 17 |
| РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВІД ДІЯЛЬНОСТІ ТЕПЛОВИХ КОТЛЕНЬ.....   | 21 |
| 2.1 Фізико-хімічні характеристики викидів .....   | 21 |
| 2.1.1 Питомі викиди шкідливих продуктів згоряння .....  | 21 |
| 2.1.2 Оксиди вуглецю CO, CO <sub>2</sub> .....  | 22 |
| 2.1.3 Оксид сірки SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> .....   | 24 |
| 2.1.4 Оксиди азоту NO <sub>x</sub> .....  | 26 |
| РОЗДІЛ 3 ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВІД ДІЯЛЬНОСТІ КОТЕЛЕНЬ.....                          | 28 |
| 3.1 Огляд і аналіз методів вимірювання концентрації CO .....  | 28 |
| 3.1.1. Адсорбційний метод вимірювання концентрації CO.....  | 28 |
| 3.1.2 Мас-спектрометричний метод вимірювання концентрації CO.....   | 31 |
| 3.1.3 Термокондуктометричний метод вимірювання концентрації CO .....  | 32 |
| 3.1.4 Оптико-акустичний метод вимірювання концентрації CO .....   | 35 |
| 3.1.5 Оптико-абсорбційний метод визначення концентрації CO .....  | 37 |
| 3.2 Огляд і аналіз засобів вимірювання концентрації CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>2</sub> .... | 39 |
| 3.2.1 Комплексний аналізатор димових газів SG800 .....  | 39 |
| 3.2.2 Комплексний аналізатор димових газів IR100 .....  | 41 |
| 3.2.3 Багатокомпонентний газовий аналізатор 325 ФА 20.....  | 43 |
| РОЗДІЛ 4 КОНСТРУКЦІЙНО-РОЗРАХУНКОВИЙ .....  | 45 |



|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.1    | Вимоги до технічних характеристик газоаналітичного інформаційно-вимірювального комплексу процесів горіння.....             | 45 |
| 4.2    | Вимоги до конструктивного виконання інформаційно-вимірювального комплексу.....   | 46 |
| 4.3.   | Діапазони вимірювання об'ємної частки газових компонентів і межі основної приведені похибки .....                          | 47 |
| 4.4    | Умови експлуатації енергозберігаючого інформаційно- вимірювального комплексу.....  | 47 |
| 4.5    | Методи і засоби атестації, перевірки і калібрування газоаналітичних приладів.....  | 48 |
| 4.6    | Обґрунтування методу вимірювання концентрації викидів котелень .....   | 48 |
| 4.7    | Структурні схеми інфрачервоних газових аналізаторів .....  | 51 |
| 4.8    | Структура вимірювального каналу O <sub>2</sub> .....   | 53 |
| 4.9    | Структура вимірювальних каналів CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> .....  | 55 |
| 4.10   | Аналіз градувальних характеристик каналів CO, CH <sub>m</sub> , CO <sub>2</sub> .....                                      | 58 |
| 4.11   | Аналіз похибок вимірювальних каналів CO, CO <sub>2</sub> .....   | 62 |
| 4.12   | Корекція результатів вимірювань .....  | 65 |
| 4.13   | Функціональна схема побудови багатоканального (CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ) інфрачервоного газоаналізатора..... | 67 |
| 4.13.1 | Вимірювальний канал CO <sub>2</sub> .....  | 67 |
| 4.14   | Структурна схема комплексу.....  | 78 |
| 4.15   | Обробка результатів вимірювання.....   | 79 |

|   |     |
|---|-----|
| РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ВДОСКОНАЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ КОТЕЛЕНЬ» ..... | 84  |
| 5.1. Опис ідеї стартап проекту .....  | 84  |
| 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту .....   | 85  |
| 5.4. Розробка ринкової стратегії проекту .....  | 92  |
| 5.5. Розробка маркетингової програми стартап-проекту .....  | 94  |
| 5.6. Висновки до розділу .....  | 97  |
| ВИСНОВКИ .....  | 99  |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....  | 101 |

## ВСТУП

Паливо-енергетичний комплекс (ПЕК) - основа економіки країни. Підйом економіки країни без розвитку галузі ПЕК неможливий і проблеми розвитку економіки - це проблеми розвитку ПЕК. Вирішувати економічні проблеми країни життєво необхідно, але не можна забувати при цьому вирішувати і екологічні питання, тому що ПЕК також є і основним джерелом екологічного забруднення. Теплові електростанції - основне джерело забруднення природи в енергетиці.

Контроль кисню в енергетичних установках, що спалюють різні види палива, визначається необхідністю забезпечення оптимального співвідношення паливо/повітря в процесі горіння. Якщо згорання повне, то його продукти складаються тільки з інертних компонентів, тобто не здатних до подальшого окислювання газів. Це, як правило і водяний пар, діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) і надлишок кисню. Присутність  $\text{CO}$  в відхідних газах, свідчить про недопал процесу спалювання і пов'язані з цим втрати енергоносіїв. Із всіх елементів, що мають здатність вступати в хімічні реакції з киснем, найбільш важливим є вуглець, що входить як основна складова в усі види палива.

При недостатності кисню окислювання вуглецю є неповним і кінцевим продуктом буде оксид вуглецю  $\text{CO}$ . Таким чином, наявність оксиду вуглецю в димових газах говорить про неефективність використання енергоресурсів. Якщо процес спалювання не відповідає оптимальним технологічним умовам, то в продуктах згорання з'являються горючі компоненти — оксид вуглецю  $\text{CO}$ , водень  $\text{H}_2$ , вуглеводні (по метану -  $\text{CH}_4$ ). Усі ці гази викидаються в атмосферу.

Основним споживачем копалин палива, а також відходів їх переробки є теплоенергетика. Використання в теплоенергетиці все більше копалин палива призвело до серйозної проблеми, що пов'язана з впливом енергетики на навколишнє середовище і на умови життя людства.

Ресурсно-технологічна база енергетики при використанні в господарському оборті переважно легкодоступних джерел енергії сильно деформувалась і у багатьох випадках вичерпала свої традиційні можливості. Такий ресурсопоглинаючий тип розвитку енергетики на протязі довгого

періоду часу в значній мірі сприяв виникненню в суспільстві проблем екологічного, соціального і науково-технічного характеру, які зараз відображуються на житті більшості людей світу. Вихід із ситуації може бути такий: раціональне і збалансоване споживання і охорона всього комплексу природних багатств, що направлені на підвищення соціально-економічного потенціалу, якості життя населення, реалізацію прав нинішнього та наступного поколінь на використання природно-ресурсним потенціалом та сприятливе навколишнє середовище мешкання.

Для країни є важливим рівень виробництва валового внутрішнього продукту на душу населення при його більш високій енергоємності, тому важливе значення має енергозбереження.

**Метою магістерської дисертації** є дослідження, розробка і виготовлення лабораторного зразка газоаналітичного енергозберігаючого інформаційно-вимірювального комплексу по оптимізації контролю процесів горіння (надалі — комплекс).

Комплекс призначений для безперервного автоматичного вимірювання концентрації газів ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  і інших газів), що виникають в зоні горіння палива (газу, мазуту, вугілля) в енергетичних об'єктах (ТЕС, ТЕЦ, котельних, бойлерних), технологічних процесах в металургії, нафтопереробці, виробництві будівельних матеріалів, всюди де за виробничим циклом спалюються значні обсяги енергоресурсів.

Застосування високих інформаційно-вимірювальних технологій про склад димових газів під час згорання палива дозволить оптимізувати процес горіння за рахунок регулювання співвідношення паливо/повітря по результатам вимірювання концентрації газів.

Проблема оптимального використання вуглеводневого палива на сьогодні в світовій економіці є однією з найбільш гострих як для ефективності роботи тепло агрегатів, так для збереження чистоти довкілля.

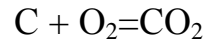
Витрати тепла в основному визначаються концентраціями і параметрами димових газів, а саме, температурою, коефіцієнтом витрати повітря  $a$ , і частково хімічною неповнотою згорання. Тобто присутністю горючих газових

компонентів ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}$ ). Необхідність спалювати паливо при  $\alpha$  близькому до 1 викликається потребою забезпечити найбільш ефективну та економічну роботу тепло агрегату. Контроль  $\alpha$  при мінімальному вмісті  $\text{CO}$ , забезпечується вимірюванням вмісту кисню та інших компонентів в димових газах.

Таким чином для ведення оптимального процесу горіння виникає потреба постійно контролювати вміст кисню і інших складових ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) ; димового газу при всіх режимах роботи теплоагрегату (печі) і видавати відповідні сигнали керування в систему регулювання співвідношення паливо/повітря.

Вартість палива що споживають металургійні і нафтопереробні заводи, ТЕС, ТЕЦ, котельні, бойлерні є однією з найважливіших складових у собівартості продукції і надаваних послуг. Ефективність роботи котла, печі, виробничого процесу - це ключовий елемент для зменшення витрат на паливо й отже значне джерело економії і зниження собівартості вироблення і передачі тепла. Втрати тепла з газами, що відходять, виникають у димоході при неоптимальному співвідношенні паливо/повітря і, як наслідок, є основною причиною неможливості витягу максимуму теплової енергії з процесу згорання. Оптимальне співвідношення паливо/повітря зменшує теплові втрати і забезпечує максимальну ефективність роботи котла. При спалюванні палива з великою кількістю повітря, надлишок проходить через усю систему, несучи із собою об'ємне тепло. При надлишку палива згорання є неповним і небезпечно зростає зміст оксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ). Це може привести як до ушкодження паливноспалювальної установки, так і шкідливим викидам в атмосферу.

Контроль кисню ( $\text{O}_2$ ) в енергетичних установках, що спалюють різні види палива, необхідний для забезпечення оптимального співвідношення паливо/повітря в процесі горіння. Якщо згорання повне, то його продукти складаються тільки з інертних компонентів, тобто не здатних до подальшого окислювання газів. Присутність  $\text{CO}$  у газах, що відходять, свідчить про неповне згорання палива і пов'язаної з цим втратою енергоносіїв. З усіх елементів, що мають здатність вступати в хімічні реакції з киснем, найбільш важливим є вуглець, що входить як основна складова в усі види палива.



При цьому кожен кілограм вуглецю виділяє 34000 кДж.

При недостатчі кисню окислювання вуглецю буде неповним і вийде вже інший кінцевий продукт - окис вуглецю (CO). Наявність окису вуглецю в димових газах говорить про неефективність використання енергоресурсів (Н ~ 600 кДж). Якщо процес горіння ведеться неправильно, то в продуктах згорання з'являються пальні компоненти, такі як оксид вуглецю (CO), водень і метан (CH<sub>4</sub>). Усі ці речовини присутні в димових газах і виділяються в атмосферу.

Застосування комплексу за рахунок оптимізації процесу горіння по результатам автоматичного контролю складу газового середовища в зоні горіння палива в енергетичних об'єктах, печах, технологічних процесах і металургії в нафтопереробці дозволить знизити рівень споживання палива на 6-8 %.

## РОЗДІЛ 1 ВПЛИВ ВИКИДІВ ВІД ДІЯЛЬНОСТІ ТЕПЛОВИХ КОТЕЛЕНЬ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Одним з основних джерел екологічно негативного впливу на навколишнє природне середовище є підприємства ПЕК. З галузей ПЕК найбільший вплив створює енергетика. Теплові електростанції - основне джерело забруднення В природи в енергетиці. Для розробки пропозицій по ефективному зниженню негативного впливу теплоенергетики на навколишнє природне середовище необхідно знати, що ж є джерелом цього негативного впливу.

Робоча маса органічного палива складається з вуглецю, водню, кисню, азоту, сірки, вологи та золи. В результаті повного згорання палива утворюються вуглекислий газ, водяні пари, оксиди сірки (сірчистий газ, сірчаний ангідрид) і зола. З перерахованих складових до числа токсичних відносяться оксиди сірки та зола. При високих температурах у ядрі смолоскипа топкових камер котлів великої потужності відбувається часткове окислення азоту повітря та палива з утворенням оксидів азоту (оксид і діоксид азоту).

При неповному згоранні палива в котельнях можуть утворюватися також і оксид вуглецю CO, вуглеводні CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> та ін., а також канцерогенні речовини. Продукти неповного згорання досить шкідливі, однак при сучасній техніці спалювання їхнє утворення можна виключити або звести до мінімуму.

Найбільшу зольність мають горючі сланці та буре вугілля, а також деякі види кам'яного вугілля. Рідке паливо має невелику зольність; природний газ є беззольним паливом. Сучасні золоуловлювачі завдяки високій ступені вловлювання золи дозволяють значно знизити викиди золи та довести їх до досить малих значень.

Останнім часом для зниження викидів оксидів азоту розроблені та реалізовані проекти низькотемпературного спалювання твердого палива. Однією з особливостей низького температурного спалювання палива є можливе утворення діоксинів.

Останнім часом серйозну увагу привернула проблема вивчення канцерогенних речовин, що утворюються при неповному згоранні палива. По своїй поширеності та інтенсивності вилливу і багатьох хімічних речовин цього

типу найбільше значення мають поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) і найбільш активний з них - бенз(а)пирен. Максимальна кількість бенз(а)перену утворюється при температурі 700 - 800° С в умовах недостатці повітря для повного згорання палива.

Токсичні речовини, які викидаються в атмосферу з димарів електростанцій, впливають на весь комплекс живої природи, тобто біосферу. Біосфера складається з шарів атмосфери, які прилягають до поверхні Землі, верхній шар ґрунту та верхні шари водних поверхонь.

В атмосферу потрапляють викиди не тільки ТЕС, а й інших промислових підприємств, а також моторизованого транспорту та інших джерел забруднення, пов'язаних з діяльністю людини. Всі ці викиди можна назвати антропогенними на відміну від природних викидів тих або інших речовин.

Хоча природне надходження в атмосферу деяких забруднювачів по масштабах перевершує промислове, все ж саме промислове має велике значення, тому що створює забруднення атмосферного повітря в районах з високою концентрацією населення. Варто підкреслити той факт, що промислове забруднення атмосфери на одиницю площі Землі (в основному для населених місць), як правило, перевершує забруднення природними домішками.

Вплив викидів можна розглядати у двох аспектах - для тієї або іншої ділянки поверхні Землі в той або інший відрізок часу (локальний вплив) або загальний вплив на біосферу з урахуванням наростаючих темпів розвитку промисловості (глобальний вплив).

### 1.1 Локальний вплив теплових електростанцій

Розглянемо спочатку питання, які відносяться до локального шкідливого впливу ТЕС на оточуючий регіон, який при високих димових трубах оцінюється як коло діаметром 20 - 50 км. Токсичні речовини, які знаходяться в димових газах, впливають на рослинність, тваринний світ і людей, а також на будівельні конструкції, будинки та споруди. Найбільш чутливі до впливу SO<sub>2</sub> рослини. Токсичний вплив SO<sub>2</sub> пов'язаний з пошкодженням поверхні листків або хвої через руйнування хлорофілу, який втримується в них. Листяні



рослини, які щорічно скидають листя, менше піддаються впливу  $\text{SO}_2$ . Хвойні рослини, навпаки, більше піддаються впливу токсичних домішок.

Проведені дослідження впливу вмісту  $\text{SO}_2$  в атмосферному повітрі на стан хвойних дерев показали, що при концентрації сірчистого газу в повітрі від 0,23 до 0,32 мг/м відбувається порушення фотосинтезу та дихання хвої, що викликає засихання, наприклад сосни за 2 - 3 року. При вмісті сірчистого газу в повітрі від 0,08 до 0,23 мг/м<sup>3</sup> відбувається зменшення інтенсивності фотосинтезу без зменшення інтенсивності дихання хвої, що приводить до повільного засихання дерев. Зміни в асиміляції листяних дерев починають відчуватися при концентрації  $\text{SO}_2$  більше 0,5 - 1 мг/м<sup>3</sup>.

Що стосується несприятливого впливу атмосферних забруднень на людей, то найбільш докладно вивчений вплив зважених речовин та діоксиду сірки.

Один з можливих негативних впливів атмосферних забруднень на людей пов'язаний з утворенням так званих токсичних туманів, що виникають при різкому зростанні концентрації атмосферних забруднень і несприятливих метеорологічних умовах.

## 1.2 Глобальний вплив теплових електростанцій

Дія токсичних речовин, що забруднюють атмосферу може викликати хронічні неспецифічні захворювання. Серед цих захворювань істотного значення набувають атеросклероз і пов'язані з ним коронарні та дегенеративні захворювання серця, хронічний бронхіт, емфізема, бронхіальна астма та ін. У багатьох дослідженнях присутній так званий «міський градієнт» при відносно низьких показниках захворюваності сільського населення. Виконані дослідження дозволили встановити, що в основному на зростання захворювань у містах впливають такі фактори, як щільність населення та забруднення навколишнього середовища, зокрема атмосферного повітря.

Якщо середньорічна концентрація  $\text{SO}_2$  або зважених часток в атмосферному повітрі складає 0,08 – 0,10 мг/м<sup>3</sup>, то погіршується видимість, виникає дискомфорт, з'являються симптоми погіршення дихання; якщо концентрація  $\text{SO}_2$  або зважених часток протягом доби складає 0,25 - 0,5 мг/м<sup>3</sup>,

то погіршується стан пацієнтів з легеневиими захворюваннями, збільшується кількість звернень пацієнтів до лікарень та смертність людей.

Як забруднювачі в навколишнє середовище надходять також різні оксиди азоту. Будучи токсичними для людини, вони мають різко виражену дратівну дію, особливо на слизисту оболонку ока. Оксиди азоту погано розчиняються в рідких середовищах, у зв'язку з чим вони здатні глибоко проникати в легені, викликаючи пошкодження альвеолярного епітелію та бронхів. Експериментальні дані та натурні спостереження свідчать про високу біологічну активність оксидів азоту.

Дослідження, виконані в різних країнах, показали, що в забруднених оксидами азоту районах у людей знижуються дихальні функції, підвищується кількість респіраторних захворювань, виявляються зміни в периферійній крові (поява метгемоглобіну).

Діоксид азоту при концентрації 4-6 мг/м<sup>3</sup> викликає гостре пошкодження рослин. Тривалий вплив NO<sub>2</sub> при концентрації близько 2 мг/м<sup>3</sup> приводить до хлорозу рослин. Нижчі концентрації, не викликаючи видимої шкоди, здатні викликати зниження їх росту.

Оксиди азоту, поглинаючи природну радіацію як в ультрафіолетовій, так у видимій частині спектра, знижують прозорість атмосфери і сприяють утворенню фотохімічного туману смогу.

Атмосферні забруднення та природні домішки піддаються складним процесам перетворення, взаємодії, вимивання і т. п. Ці процеси різні для зважених часток і газоподібних домішок. Час знаходження («життя») зважених часток в атмосфері залежить від їх фізико-хімічних властивостей, метеорологічних параметрів і деяких інших факторів, насамперед від висоти викиду часток а атмосферу і їх розмірів.

Питання про час «життя» і перетвореннях газоподібних забруднень атмосфери мало вивчене. Строк «життя» в атмосфері сірчистого газу за даними різних авторів коливається від декількох годин до півтори і навіть декількох діб.

Проведені дослідження показали, що сірчистий газ SO<sub>2</sub> поступово

окислюється в  $\text{SO}_3$ , який взаємодіючи з вологою повітря, утворює сірчану кислоту. На швидкість процесу окислення впливають сонячне світло і дрібні частки пилу, які каталітично прискорюють процес окислення. Найактивніше процес перетворення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  проходить при наявності випромінювання з довжиною хвилі 220 - 250 нм.

На процес окислення впливає також вологість повітря. Так, дослідженнями було встановлено, що якщо зміст аерозолі сірчаної кислоти в сірчистому газі при вологості до 60 % становить у середньому 7,8 %, то при вологості вище 81 % воно зростає до 31 %.

Відомо, що більшість реакцій газоподібних забруднень в атмосфері пов'язані з термо- або фотоокисленням. У верхніх шарах атмосфери на висоті більше 30 км від земної поверхні, де фотохімічні реакції протікають при участі сонячного випромінювання з довжиною хвилі менш 290 нм, відбувається повний розпад як органічних, так і неорганічних речовин, що потрапили з біосфери. Складні молекули розпадаються, повертаючись в наземний шар у вигляді вуглекислого газу, води, кисню, азоту та ін.

Реакція дисоціації  $\text{NO}_2$  дає поштовх до безлічі вторинних реакцій, появи вільних радикалів, утворенню озону, полімеризації. Крім того, на протікання цих реакцій впливає окислення вуглеводнів, у ході якого утворюються речовини з карбонільною групою (альдегіди, кетони). Кінцевими продуктами фотохімічного розкладу є оксид і діоксид вуглецю, а також органічні аерозолі. Спільне окислення вуглеводнів та оксидів азоту приводить до утворення продуктів, які в результаті подальших реакцій утворюють пероксиацилнітрати (ПАН), які мають сильний токсичний вплив. Речовини групи ПАН виявляються в міському повітря під час токсичних туманів.

З високою швидкістю протікають і вторинні фотохімічні реакції: взаємодія молекулярного кисню та оксиду азоту  $\text{NO}$  з атомарним киснем (при цьому утворюються озон і діоксид азоту), а також взаємодія діоксиду азоту з озоном, у результаті чого утворюються нітрати. Фотохімічні реакції з діоксидом азоту відбуваються по стадіям. У результаті цих реакцій відбувається безперервне утворення озону, що, в свою чергу, взаємодіючи з

оксидом азоту, дає знову діоксид азоту, тому кількість  $\text{NO}_2$  у продуктах згорання ТЕС збільшується при русі димового смолоскипа в атмосфері до 70 % в зоні максимальних концентрацій, тоді як на виході з димарів діоксид азоту становить 10 - 15 % всіх оксидів азоту, які знаходяться в димових газах, а інші 85 - 90 % - в основному оксид азоту.

Необхідно підкреслити, що це приводить до посилення негативного впливу продуктів згорання на природу та живі організми, тому що діоксид азоту більш токсичний (приблизно в 3 - 3,5 рази) за оксид азоту. На сьогодні встановлено, що основною причиною фотохімічних перетворень в наземному шарі атмосфери міст є висока ступінь забруднення повітря органічними речовинами (переважно нафтового походження) та оксидами азоту, які утворюються в процесі високотемпературного горіння.

Умовами, які сприяють утворенню фотохімічного туману при високому рівні забруднення атмосферного повітря реактивними органічними сполуками та оксидами азоту, є велика кількість сонячної радіації, температурні інверсії та мала швидкість вітру.

Таким чином, шкідливі домішки у викидах ТЕС - пил, оксиди сірки та азоту, впливаючи на біосферу регіону розміщення електростанції, піддаються різноманітним перетворенням та взаємодіям, а також осідають, вимиваються атмосферними опадами, потрапляють в ґрунт та водоймища [1].

## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВІД ДІЯЛЬНОСТІ ТЕПЛОВИХ КОТЛЕНЬ

### 2.1 Фізико-хімічні характеристики викидів

#### 2.1.1 Питомі викиди шкідливих продуктів згорання

Органічні палива, які використовуються на ТЕС та в котельнях для отримання електричної та теплової енергії, поряд з вуглецем і воднем часто мають у своєму складі сірку і азот. При спалюванні палив у котельнях котлів або в камерах згорання ГТУ та ПГУ утворюються різні продукти згорання такі, як оксиди вуглецю, водяні пари  $H_2O$ , оксиди сірки, оксиди азоту, поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), мазутна зола, зола твердого палива та ін. (табл. 2.1) [1]. Потім вони викидаються в атмосферу і розсіюються в ній за допомогою димарів.

Таблиця 2.1 - Питомі викиди шкідливих продуктів згорання при смолоскиповому спалюванні органічних палив в енергетичних котлах

| Викиди  | Природний газ,<br>г/м <sup>3</sup> | Мазут, кг/т      | Вугілля, кг/т          |
|---|------------------------------------|------------------|------------------------|
| Оксиди сірки $SO_x$<br>(в перерахунку на $SO_2$ ) | 0,0006 – 0,0,1                     | 21S <sup>P</sup> | (17 –19)S <sup>P</sup> |
| Оксиди азоту $NO_x$<br>(в перерахунку на $NO_2$ ) | 5 – 11                             | 5 – 14           | 4 – 14                 |
| Монооксид вуглецю CO                              | 0,002 – 0,005                      | 0,005 – 0,05     | 0,1 –0,45              |
| Вуглеводні  | 0,016                              | 0,1              | 0,45 – 1,0             |
| Водяні пари $H_2O$                                | 1000                               | 700              | 230 –360               |
| Діоксид вуглецю $CO_2$                            | 2000                               | 3000             | 2200 – 3000            |
| Летюча зола,                                      | -                                  | 10A <sup>P</sup> | 10A <sup>P</sup>       |

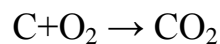
|      |  |  |  |
|------|--|--|--|
| шлак |  |  |  |
|------|--|--|--|

Примітка:  $S^P$ ,  $A^P$  - відповідно вміст сірки та золи на робочу масу палива.

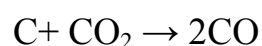
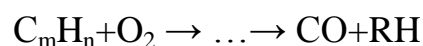
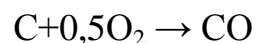
В атмосферному повітрі відбувається подальше перетворення газоподібних викидів ТЕС, що триває від декількох годин до декількох місяців. Наявність шкідливих газоподібних продуктів згорання органічних палив в атмосфері приводить до руйнування озонового шару, утворенню фотохімічних туманів (смогів), корозії металоконструкцій, ерозії ґрунту, знищенню флори, викликає різні (у тому числі і ракові) захворювання в людини. Слід особливо зазначити, що ступінь впливу шкідливих викидів на навколишнє середовище істотно підвищується через зосередженість джерел викидів у великих промислових регіонах.

### 2.1.2 Оксиди вуглецю $CO$ , $CO_2$

При спалюванні палива відбувається окислення вуглецю і його з'єднань киснем повітря з утворенням діоксида вуглецю (або вуглекислого газу)  $CO_2$ , як кінцевого продукту повного окислення (згорання):



У той же час, внаслідок локальної недостачі повітря або несприятливих теплових та аеродинамічних умов, у котельнях та камерах згорання утворюються продукти неповного згорання, більшу частку яких становить монооксид вуглецю  $CO$  (чадний газ):



Вміст  $CO$  у продуктах згорання парових і водогрійних казанів частіше не перевищують сотих часток відсотка (0,001 - 0,025 % об.\*) і характеризує втрати тепла в котлоагрегаті від хімічної неповноти згорання.

Концентрація  $\text{CO}_2$  у газах, що викидаються, істотно вище і становить 10 - 14% об. залежно від виду палива, яке спалюється (рисунок 2.1) [1]. Найбільше діоксиду вуглецю (у відсотковому відношенні) виділяється при спалюванні вугілля, а найменша кількість - при спалюванні природного.

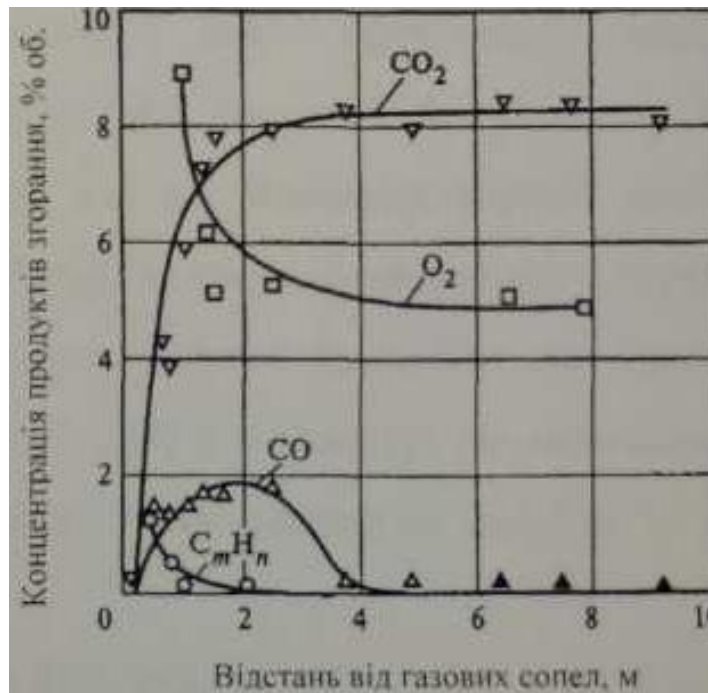


Рисунок 2.1 — Усреднені по перерізу концентрації  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$  та  $\text{C}_m\text{H}_n$  вздовж осі смолоскипа вихрового пальника

Оксиди вуглецю входять до складу атмосфери Землі, беручи участь у глобальних циклах перетворення (кругообігу) вуглецю в біосфері.

Оксид вуглецю  $\text{CO}$  представляє собою безбарвний, несмачний газ, що має токсичну дію. Потрапляючи в організм,  $\text{CO}$  реагує з гемоглобіном крові, перешкоджаючи нормальному переносу кисню, в результаті чого можливе отруєння. Дослідження показали, що вплив  $\text{CO}$ , навіть у порівняно малих кількостях, може викликати порушення поведінки, невідчутні для самого потерпілого. Негативні ефекти, пов'язані з підвищенням вмісту чадного газу в атмосферному повітрі, проявляються в першу чергу при складних діях, що вимагають високого рівня уваги, наприклад, при виконанні монотонної роботи.

Концентрація  $\text{CO}$  у повітрі невелика і становить всього приблизно  $0,13 \times 10^{-4}$  % об. Проте вплив  $\text{CO}$  на міське населення стає досить важливою проблемою для великих промислових регіонів.

Вміст вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  в атмосфері в цей час досягає 0,03 - 0,032 % об., однак є тенденція його збільшення на  $(0,6 - 0,7) \times 10^{-4}$  % об. в рік в результаті активної промислової діяльності людини.

Вуглекислий газ  $\text{CO}_2$  пропускає короткохвильове світлове випромінювання Сонця, але ефективно поглинає довгохвильове випромінювання, відбите від поверхні Землі. Тому вуглекислий газ, що є присутнім в атмосфері, діє як «захисний екран», зменшуючи теплові втрати планети. «Парниковий» ефект, пов'язаний з присутністю  $\text{CO}_2$ , важливий фактор, який регулює температуру земної кулі. Так, по даним деяких дослідників, підвищення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері до величини 0,06 % об. приведе до підвищення середньорічної температури на Землі на 3 - 4°C.

### 2.1.3 Оксид сірки $\text{SO}_2$ , $\text{SO}_3$

Сірка, яка міститься в паливі, є джерелом утворення оксидів сірки  $\text{SO}_x$ : сірчастого  $\text{SO}_2$  і сірчаного  $\text{SO}_3$  ангідридів. Сумарний масовий викид  $\text{SO}_x$  залежить тільки від вмісту сірки в паливі  $S^p$ .

Сірка  $S$  в твердих паливах може міститися в трьох видах: органічна  $S_{\text{ор}}$ , колчеданна  $S_{\text{к}}$  і сульфатна  $S_{\text{с}}$ . Органічна сірка входить до складу складних високомолекулярних органічних сполук палива. Колчеданна сірка являє собою її з'єднання з металами (частіше залізний колчедан  $\text{FeS}_2$ ) і входить у мінеральну частину палива. Сульфатна сірка входить у мінеральну частину палива у вигляді сульфатів лужних металів ( $\text{CaSO}_4$  і  $\text{Mg, SO}_4$ ) і тому в процесі горіння подальшому окисленню не піддається і переходить у золу. До складу газоподібних палив сірка входить тільки у вигляді сірководню  $\text{H}_2\text{S}$  або сірчастого ангідриду  $\text{SO}_2$ . Сірка в мазуті входить головним чином до складу сіркоорганічних з'єднань і в меншій мірі вона присутня у вигляді сірководню  $\text{H}_2\text{S}$  і сірки елементарної.

Утворення оксидів сірки при спалюванні сірчастих палив у топочних пристроях парових котлів в основному відбувається на початковій ділянці смолоскипа. Найбільш високі концентрації  $\text{SO}_3$ , які в кілька разів перевищують рівноважні, спостерігаються в безпосередній близькості від пальника. Кінцева концентрація сірчаного ангідриду  $\text{SO}_3$  в продуктах згорання не перевищує



тисячних часток відсотка і залежить від складу палива, режиму горіння, конструкції котлів і стану поверхонь нагрівання (рисунок 2.2) [1]. Як правило, частка  $\text{SO}_2$  становить 97 - 99 %, а частка  $\text{SO}_3$  1 - 3 % від сумарного виходу  $\text{SO}_x$ . Фактичний вміст  $\text{SO}_2$  у вихідних з казанів газах коливається від 0,08 до 0,6 % об., а концентрація  $\text{SO}_3$  - від 0,0001 до 0,008 % об.

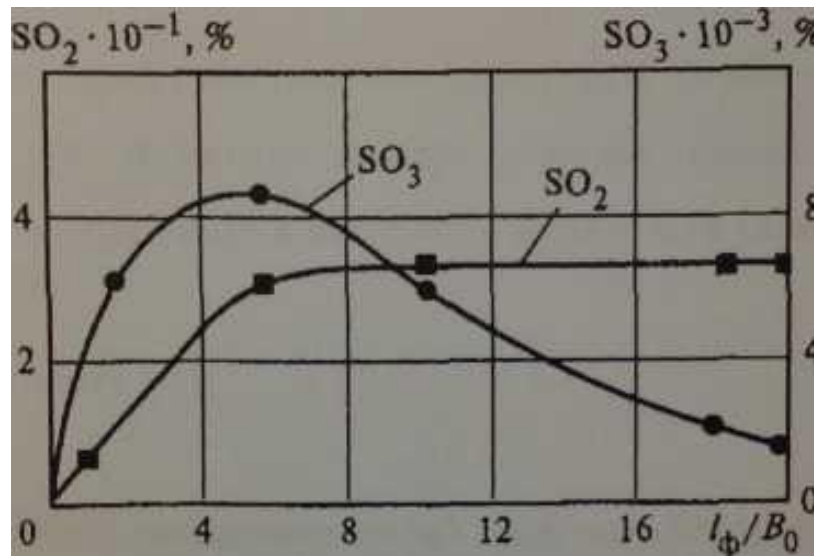


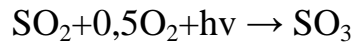
Рисунок 2.2 - Зміна вмісту оксидів сірки по смолоскипу:  $l_{\phi}$  - довжина смолоскипу;  $B_0$  - калібр пальника

У процесі спалювання палива сірка переходить не тільки в димові гази у вигляді  $\text{SO}_x$ , але може, часткове, зв'язуватися твердими продуктами згорання: золою та шлаками при спалюванні вугілля, коксом і золовими відкладеннями при спалюванні мазуту. Тому концентрації  $\text{SO}_x$  у газах по довжині газового тракту казана можуть змінюватися.

Оксиди сірки є одними з основних забруднювачів атмосфери.

Сірчистий ангідрид  $\text{SO}_2$  представляє собою безбарвний газ з гострим запахом. При вдиханні дратує дихальні шляхи, порушує обмінні і ферментативні процеси. При концентрації  $\text{SO}_2$  в атмосферному повітрі 0,08  $\text{мг}/\text{м}^3$  відчувається дискомфорт у людей. Найбільш чутливими до  $\text{SO}_2$  є хвойні дерева, у яких спостерігається процес в'янення, при вмісті  $\text{SO}_2$  у повітрі, починаючи з 0,08 — 0,23  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Присутність сірчистого ангідриду разом з димом і сажею в атмосферному повітрі (при високій вологості останнього) є причиною утворення в промислових центрах смогів у ранкові години. Тривалість знаходження  $\text{SO}_x$  в атмосфері порівняно невелика (від 2 - 4 до 15 -

20 діб). За цей час відбувається його повне окислення до  $SO_x$ , яке протікає значно швидше під дією сонячного світла:



Сірчаний ангідрид (або триоксид сірки)  $SO_3$  безбарвний газ, який дратує дихальні шляхи. У вологому повітрі утворює туман (аерозоль) сірчаної кислоти, який активно руйнує конструкції, будинки та устаткування.

#### 2.1.4 Оксиди азоту $NO_x$

При спалюванні органічних палив азот, що міститься у повітрі та паливі, стає реакційноздатним і, з'єднуючись з киснем, утворює оксиди:  $NO^* = NO + NO_2 + N_2O$ . Експериментальні і промислові дослідження показали, що основна частина утворених  $NO_x$ , а саме 95 - 100%, припадає на монооксид (оксид) азоту  $NO$ . Діоксид  $NO_2$  і геміоксид  $N_2O$  азоту утворюються в значно меншій кількості, і їх частка приблизно становить: для  $NO_2$  - 4 %, а для  $N_2O$  - соті частки відсотка від загального викиду  $NO_x$ .

Оксид азоту  $NO$  - безбарвний газ. Є найсильнішою отрутою, що діє на кров і нервову систему.

Діоксид азоту  $NO_2$  представляє собою пару буро-червоного кольору. Впливає на дихальні шляхи. Приводить до набряку легенів.

Існують два принципово різних джерела утворення оксиду азоту  $NO$  при горінні органічних палив. Це - окислення атмосферного (молекулярного) азоту  $N_2$  повітря, який використовується як окислювач при горінні, і окислення азотовмісних складових палива. У першому випадку утворюються термічні та «швидкі» оксиди азоту, а в другому - паливні  $NO$ .

Термічні оксиди азоту утворюються при горінні будь-яких палив в області високих температур, якщо як окислювач використовується повітря.

На вихід термічних оксидів азоту впливають різні фактори. Найбільший вплив має температура в зоні горіння, зі збільшенням якої відбувається експонентний ріст утворення  $NO$ . Збільшення часу перебування в зоні горіння також приводить до майже прямо пропорційного росту емісії оксиду азоту.

Збільшення концентрації оксиду азоту до пояснюється тим, що при малих надлишках повітря збільшення концентрації вільного кисню сприяє більш

активному протіканню реакції окислення азоту повітря, а при збільшенні в закритичній області зниження температур в зоні горіння впливає більше, ніж збільшення концентрації кисню.

При типових умовах факельного згорання палив в котлах концентрації діоксиду азоту  $\text{NO}_2$ , як правило, дуже маленькі порівняно з вмістом  $\text{NO}$  і як правило становлять від 0-14  $\text{мг/м}^3$  до 40 -60  $\text{мг/м}^3$ .

Утворення діоксиду азоту проходить в двох зонах: передполум'яної та післяполум'яної. В першій зоні утворений  $\text{NO}_2$  повністю розкладається. В той час швидке змішування гарячих та холодних областей в турбулентному полум'ї може Привести до швидкого замороження  $\text{NO}_2$ , що є причиною появи відносно великих концентрацій діоксиду азоту в холодних зонах потоку. Емісія  $\text{NO}_2$  в післяполум'яній зоні проходить в верхній частині топки та в горизонтальному газоході (при  $T$  900 - 1000 К) та при певних умовах також може досягати помітної величини.

Геміоксид азоту  $\text{N}_2\text{O}$ , який утворюється при спалюванні палив, є короткочасною проміжною речовиною. Геміоксид азоту  $\text{N}_2\text{O}$  практично відсутній в продуктах згорання за котлами.

## РОЗДІЛ 3 ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВІД ДІЯЛЬНОСТІ КОТЕЛЕНЬ

### 3.1 Огляд і аналіз методів вимірювання концентрації CO

#### 3.1.1. Адсорбційний метод вимірювання концентрації CO

Якщо напівпровідниковий елемент помістити в газове середовище, то на поверхні його адсорбують молекули певних компонентів. Процес адсорбції носить ізотермічний і оборотний характер. Адсорбційна рівновага характеризується рівністю швидкостей адсорбції і десорбції.

$$V_{agc} = k_1 \cdot C \cdot (\Gamma_M - \Gamma) \cdot p \cdot f(t)$$

$$V_{gec} = k_2 \cdot \Gamma \cdot V_{agc} = V_{gec}$$

де  $\Gamma_M$  – максимальне значення адсорбції, при котрому поверхня повністю замінена молекулами поверхнево-активних речовин;

$C$  – рівноважна концентрація адсорбуємої речовини;

$k_1, k_2$  – константи адсорбційної і десорбційної рівноваги;

$\Gamma$  – фактичне значення адсорбції, г/м<sup>2</sup>.

Це рівняння визначає залежність адсорбції від концентрації адсорбованої речовини при постійній температурі.

Оборотна хемосорбція активних газів на поверхні оксидів напівпровідникових металів і халькогенідів змінює їх поверхневу провідність, завдяки чому змінюється його електричний опір. Зміна провідності в напівпровідникових елементах обумовлено зміною концентрації електронів в зоні провідності (або дірок в валентній зоні) завдяки обміну зарядами з адсорбованими частинами газової фази. Саме тому матеріали на основі напівпровідникових елементів придатні для виготовлення на їх основі газочутливих елементів.

Напівпровідникові чутливі елементи (НПЧЕ) характеризується рядом переваг: висока чутливість, мала споживаємо потужність, велика швидкодія,

малі габарити (розміри ЧЕ  $\sim$  долі мм), простота, економічність, незалежність показів ПВП від вібрацій і просторового положення.

Важливим є те, що перетворення вхідної величини - концентрації компонента АГС здійснюється безпосередньо в електричний сигнал.

В залежності від технології виготовлення НПЧЕ діляться на 2 групи: керамічні і плівкові. В керамічних НПЧЕ використовуються оксиди металів:

$\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ . Порошок оксида метала змішують з матеріалом, що зв'язує (целюлоза, алкід), до створення пасти, потім наносять між двома дротяними електродами і випалюють на повітрі при температурі 1073 – 1273 К.

На відмінну від звичайної кераміки створюється пориста структура, що необхідно для збільшення поверхні, яка контактує безпосередньо з газом середовищем. Електроди виготовлено у вигляді спіралі із дроту чистої платини і паладія, або сплавів пападій-іридій, іридій-платина, родій-платина.

Підбираючи оксиди відповідних металів для НПЧЕ можна створити селективні НПЧЕ. На основі оксиду  $\text{MnO}_2$  створено чутливі елементи для аналізу концентрації вуглекислого газу в газових сумішах.

Електропровідність керамічних НПЧЕ залежить як від парціального тиску компоненту, що вивчається, так і від температури, при якій працює НПЧЕ. Тому необхідна чутливість і селективність визначається вибором окисів металів, легуванням за допомогою каталітичних добавок (благородних і неблагородних металів, їх оксидів), вибором робочих температур НПЧЕ.

Частіше застосовують режим роботи НПЧЕ з підігрівом ( $t = 50 \dots 500^\circ\text{C}$ ) в залежності від матеріалу ЧЕ і компонента газової суміші, на який він має реагувати.

Схема адсорбційного НПЧЕ показана на рисунку 3.1

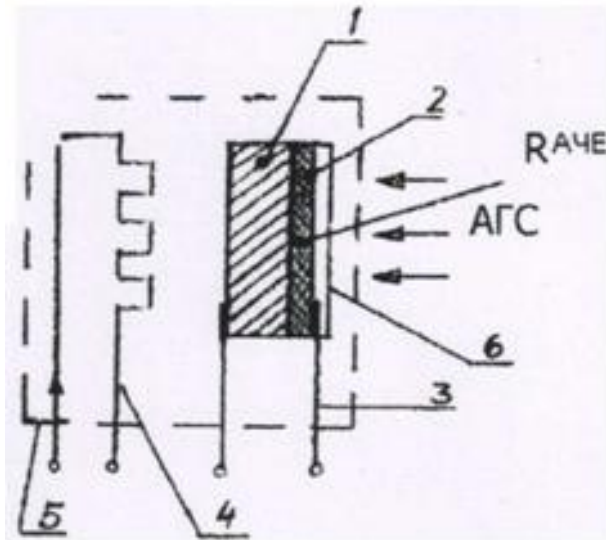


Рисунок 3.1 - Схема Напівпровідникового чутливого елементу НПЧЕ:  
 1 – підкладка; 2 – чутливий шар; 3 – контакти електродів; 4 – підігрівач; 5 – корпус НПЧЕ  $d = 10 \dots 15$  мм; 6 – молекулярне сито

При адсорбції молекул АГС змінюється провідність провідника, а відповідно і електричний опір  $R_{ACHE}$ .

$$R_{ACHE} = (R_n \cdot R_{ЧШ}) / (R_n + R_{ЧШ})$$

де  $R_{ACHE} = f(\Gamma)$  є інформативним параметром НПЧЕ;

$R_n$  – опір підкладки;

$R_{ЧШ}$  – опір чутливості шару;

$\Gamma$  – фактичне значення адсорбції,  $г/м^2$ .

$d = k_1/k_2$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  – константи десорбційного і адсорбційного процесів.

АЧЕ включають в мостову схему фактичне значення адсорбції,  $г/м^2$ .

Представлено на рисунку 3.2

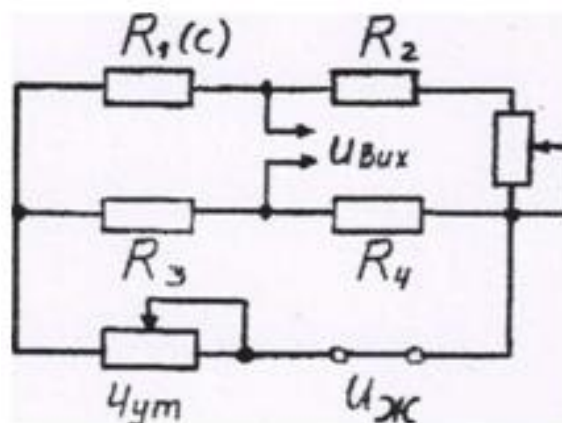


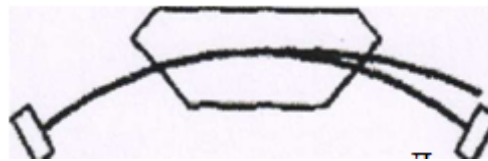
Рисунок 3.2 - Мостова вимірювальна схема НПІАЧЕ

$$U_{вих} = ((R_1(C) \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3) / A) \cdot U_{жс} = U_{жс} (R_4 / A) R_1(C) - B = \\ = U_{жс} (R_4 / A) \cdot k \cdot k_1 (\Gamma_m - \Gamma) p \cdot f(t) \cdot C - B$$

Отже високу точність перетворення НПЧЕ можна отримати, якщо: стабілізувати напругу живлення вимірювальної мостової схеми, температуру і тиск АГС, використовувати селективні і температуронезалежні напівпровідникові матеріали ЧЕ, забезпечити стабільність параметрів елементів вимірювальної схеми.

### 3.1.2 Мас-спектрометричний метод вимірювання концентрації CO

Мас-спектрометрію можна розглядати як сукупність двох окремих процесів: іонізації і розділення іонів по масах та реєстрації іонів, що утворюються. Численні методи іонізації можна поєднувати з різними способами розділення іонів залежно від поставлених завдань. На рисунку 3.3 пояснюється принцип дії магнітного мас-спектрометра.



Електромагніт  
Іонне джерело                      Детектор

Рисунок 3.3 - Принципова схема магнітного мас-спектрометра

При бомбардуванні електронами молекул в газоподібному стані зв'язки в молекулах розриваються і утворюються іони. Вигляд і кількість іонів, що утворюються, характерні для даної молекули. При накладенні іонного поля, позитивно заряджені частинки прискорюються і рухаються шутих кривих, радіус кривизни яких пропорційний кореню квадратному з маси іона. При деякому постійному магнітному полі потік іонів, що містить іони з ідентичним відношенням маса/заряд, потрапляє на колектор. Тут при розряді іонів виникає струм, пропорційний відносній кількості іонів з відповідною масою. Зміною магнітного поля поступово переводять на колектор потоки іонів з іншим відношенням маса/заряд. Струм колектора записується і дає мас-спектрограму. Мас-спектр може служити для ідентифікації молекули. Магнітні мас-

спектрометри мають високу роздільну здатність і можуть використовуватися зі всіма видами іонізації.

Не дивлячись на значні переваги сучасних магнітних мас-аналізаторів іншими (рекордна чутливість, однозначність ідентифікації, великий робочий діапазон мас), вони володіють двома основними «недоліками» - ці прилади великі як за розмірами, так і за вартістю.

### 3.1.3 Термокондуктометричний метод вимірювання концентрації CO

Цей метод аналізу відноситься до теплових методів. Теплові аналізатори базуються на використанні виміральної інформації про теплові властивості компонента газової суміші, які служать мірою його концентрації. Розглянемо газоаналізатори теплопровідності (вимірюється теплопровідність газової суміші).

Такі аналізатори основані на процесі теплопровідності – передачі теплоти, який здійснюється шляхом хаотичного теплового руху молекул і атомів при зіткненні між собою, при цьому молекули і атоми мають різну кінематичну енергію.

Цей тип передачі теплоти суттєво відрізняється від конвекції, суть якої полягає в переміщенні маси газу під впливом температурного градієнту або при механічному переміщенні.

Теплопровідність газової суміші визначається:

$$\lambda = \frac{C_v \cdot \bar{V} \cdot K}{d^2 \left(1 + \frac{C}{T}\right)}$$

де  $C_v$  - теплоємність одного граму моля речовини при постійному об'ємі;

$\bar{V}$  - середня швидкість молекули;

$K$  - стала величина

$d^2$  - діаметр молекули

$C$  – стала, що визначається температурою газу

$T$  – температура газу

Із формули видно, що теплопровідність буде тим більше, чим менший діаметр молекули  $d$ , чим більше  $T$  і теплопровідність  $C_v$ . Звідси висновок: для



аналізу деяких газових сумішей дуже зручно застосовувати принцип теплопровідності, особливо в тих випадках, коли спостерігається велика різниця між ними. Це відноситься безпосередньо до визначення водню, благородних газів, хлору, вуглекислого газу, сіркового газу та ін.

Приведемо значення теплопровідності деяких газів в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Теплопровідність газів

| Газ                             | $\lambda_0 \cdot 10^{-7}$ кал/см <sup>-1</sup> · с <sup>-1</sup> · град <sup>-1</sup> |
|---------------------------------|---|
| Повітря                         | 583   |
| Водень Н <sub>2</sub>           | 4160  |
| Азот N <sub>2</sub>             | 581   |
| Кисень O <sub>2</sub>           | 589   |
| Двоокис вуглецю CO <sub>2</sub> | 350   |
| Пари води Н <sub>2</sub> O      | -   |
| Окис вуглецю CO                 | 563   |

Отже, метод теплопровідності зможемо застосувати для газів, теплопровідності або температурні коефіцієнти теплопровідності яких суттєво відрізняються та суттєво перевищують відповідні показники повітря. Розглянемо безпосередньо термокондуктометричний газоаналізатори. Це такі газоаналізатори, принцип дії яких базується на відповідній залежності теплопровідності суміші, що аналізується від концентрації визначаємого компоненту (рисунок 3.4).

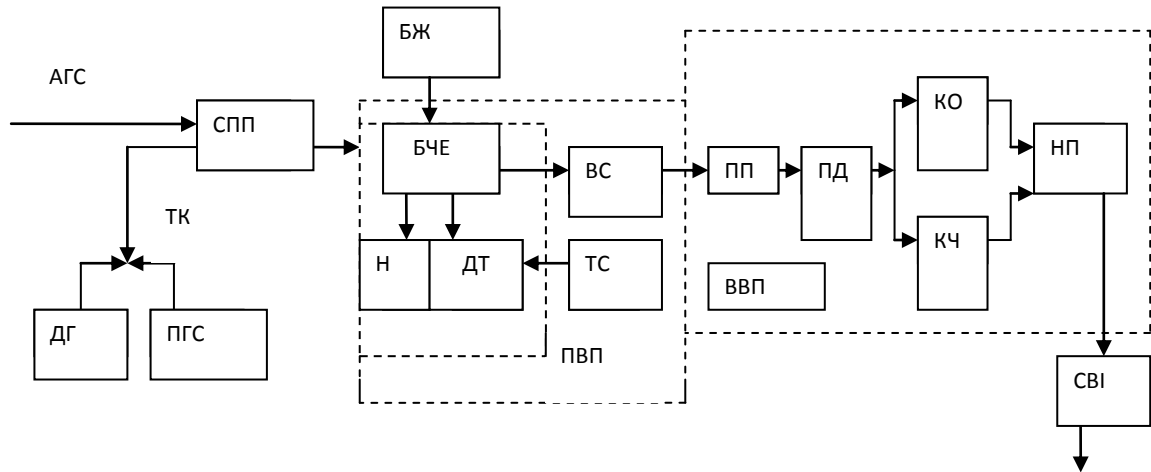


Рисунок 3.4 - Схема комбінована структурна газоаналізатору

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| ДГ - допоміжний газ           | ПД - перемикач діапазону                   |
| АГС – аналізуєма газова суміш | КО, КЧ – коректор «0» і чутливості         |
| ТК – трьохходовий кран        | ВВП – вторинний вимірювальний перетворювач |
| БЧЕ – блок чутливих елементів | ПВП – первинний вимірювальний перетворювач |
| ТС – термостабілізатор        | СБІ – система відображення інформації      |
| Н – нагрівач                  | ВС- вимірювальна схема                     |
| ДТ – датчик температур        | НП – нормуючий підсилювач                  |
| БЖ – блок живлення            |  |

Аналізуєма газова (АГС) суміш подається на вхід СПП. Потім сигнал подається у ПВП в БЧЕ, одночасно з АГС в БЧЕ поступає ДГ через ТК, БЧЕ за допомогою системи термостабілізації підтримується при постійній температурі. АГС подається з температурою, яка близька до температури БЧЕ, якщо температура БЧЕ відрізняється від температури газу, то за допомогою нагрівача її можна збільшити. АГС попадаючи в БЧЕ нагрівається пропорційно теплопровідності газу. На результат нагрівання буде впливати температура чутливого елементу, яка підтримується на рівні  $80-200^{\circ}\text{C}$  за допомогою СБЖ. Після БЧЕ ГС в залежності від її теплопровідності змінить температуру ЧЕ, а, відповідно, і його опір, ця зміна опору призведе до величини, яка пропорційна концентрації газу, що визначається. Далі сигнал підсилюється на ПП після чого

здійснюється корекція нуля і чутливості, вихідний сигнал подається на НП, де сигнал доводиться до нормального значення.

Переваги термокондуктометричного газоаналізатору:

1. Простота конструкції.
2. Висока чутливість вимірювання.
3. Широкий динамічний діапазон.
4. Висока надійність.
5. Великий строк служби.
6. Можливість роботи в складних умовах експлуатації і в агресивному середовищі.

Недоліки термокондуктометричного газоаналізатору:

1. Низька селективність вимірювання.
2. Необхідність термостабілізації ПВП у зв'язку з тим, що теплопровідність суттєво залежить від температури, а відповідно і покази аналізатору будуть залежати від температури.
3. Необхідність застосування високостабільного джерела живлення.
4. Застосовуються відносні вимірювання теплопровідності. Це призводить до відповідних похибок.

Отже, велика кількість недоліків, велика неселективність вимірювань та необхідність застосування окремого методу для підвищення селективності саме для СО, в якого теплопровідність не значно відрізняється від теплопровідності інших газів, дає вказівку про те, що цей метод буде нераціонально використовувати для аналізу заданого газу.

### 3.1.4 Оптико-акустичний метод вимірювання концентрації СО

В основі усіх оптико-акустичних газоаналізаторів лежить наступна система: якщо між джерелом інфрачервоної радіації і об'єктом, з однієї сторони і оптико-акустичним приймачем, з іншої – помістити камеру з вікнами, що пропускають інфрачервону радіацію, і пропускати через цю камеру складну газову суміш, то амплітуда коливань температури і тиску газу в замкнутому

об'ємі приймача буде пропорціональна концентрації в газовій суміші компоненту, яким заповнений приймач.

В більшості вітчизняних і зарубіжних оптико-акустичних газоаналізаторів використовується диференціальна (двоканальна) оптична схема, яка завдяки наявності двох оптичних каналів забезпечує необхідну точність виміру. Приведена схема обґрунтовується на прикладі наявності в газі двох компонентів – CO і CO<sub>2</sub>. В цій схемі два джерела інфрачервоної радіації випромінюють потоки радіації в два ідентичних оптичних канали. Обидва потоки одночасно перериваються обтюратором з частотою 5-6 гц. В правому каналі потік проходить послідовно робочу і фільтруючу камери, після чого надходить в правий приймальний циліндр оптико-акустичного приймача, заповненого двоокисом вуглецю. В лівому каналі потік радіації проходить відповідно порівнюючу і фільтруючу камери і надходять в лівий приймаючий циліндр того ж приймача.

Фільтруючі камери, що знаходяться в правому і лівому оптичних каналах, заповнені компонентами газової суміші, що не підлягають визначенню. Наявність в схемі фільтруючих камер забезпечує повне виключення впливу невизначених компонентів в тих випадках, коли їх спектри поглинання частково перекривають спектри поглинання визначаємого компоненту. В розглядуваному випадку фільтруючі камери заповнені окисом вуглецю в концентрації, що забезпечує практично повне поглинання інфрачервоної радіації, що відповідає спектру поглинання цього газу.

При надходженні переривистої радіації в правий і лівий циліндри в приймачі виникають коливання температури і тиску з частотою переривання потоку 5-6 Гц. При цьому амплітуда коливання в правій частині приймача опиняється менше, чим в лівій, за рахунок поглинання в робочій камері частини енергії, що відповідає концентрації і спектру поглинання визначаємого компонента – CO.

В середній частині приймача встановлений конденсаторний мікрофон, мембрана якого в рівній степені сприймає коливання тиску в правій і лівій частинах приймача. Амплітуда коливань мембрани залежить від різниці

змінних тисків в обох частинах приймача, тобто від степені поглинання інфрачервоної радіації в робочій камері, і, відповідно, служить мірою концентрації визначаємого компоненту в аналізує мій газовій суміші. Зміна амплітуди коливань конденсаторного мікрофона викликає відповідну зміну його ємності, яка визначає появу на виході підсилювального пристрою електричної напруги, величина якої пропорціональна поглинанию в робочій камері, тобто концентрації визначаємого компоненту.

Основною перевагою методу є висока точність.

Недоліки:

1.Складність конструкції (наявність фільтруючих камер; складність будови чутливого елементу).

2.Для досягнення високих метрологічних характеристик при побудові приладів даного класу, де чутливим елементом є “конденсаторний мікрофон”, потрібно конструктивно позбавитися ємнісних зв’язків і паразитних ємностей.

Складність будови даного газоаналізатору і проблеми з позбавленням ємнісних зв’язків вказують на те, що даний метод буде недоцільно використовувати для аналізу заданого газу.

### 3.1.5 Оптико-абсорбційний метод визначення концентрації CO

Принцип дії газоаналізаторів цього методу базується на оптичному методі вимірювання інтенсивності випромінювання, яке поглинається газом в інфрачервоному спектрі при проходженні випромінювання через шар газової суміші, що аналізується

Відомо, що гази поглинають оптичне випромінювання у відповідній спектральній області, характерній для того чи іншого газу. Це пов’язано з частотними властивостями коливань атомів і молекул, а також з оберненням молекул, з їх енергетичними рівнями електронів, атомів, молекул.. Спектри поглинання деяких газів, наприклад, парів ртуті, хлору, фтору, окису азоту, розташовані в ультрафіолетовій області спектру, а двоокис азоту має спектр поглинання у видимій області спектру, а деякі гази такі як метан, окис і двоокис вуглецю, аміаку в інфрачервоній області спектру випромінювання.

Інтенсивність монохроматичного випромінювання  $I(\lambda)$ , яке проходить через газ, що аналізується, визначається законом Бугера - Ламберта-Бера:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \exp(-\varepsilon(\lambda) \cdot c \cdot l), \quad (3.1)$$

де  $I_0(\lambda)$ - інтенсивність монохроматичного випромінювання  $I(\lambda)$ , яке проходить через газ, що аналізується;

$\varepsilon(\lambda)$ - питомий коефіцієнт поглинання для даного газу, який є функцією довжини хвилі

$L$  - довжина поглинаючого шару газу, що аналізується

Із виразу концентрація газу  $c$  визначається:

$$c = (k(\lambda) \cdot L)^{-1} \cdot \ln\left(\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}\right) \quad (3.2)$$

Із виразу видно, що величина  $\varepsilon(\lambda)$ ,  $L$ - відомі для кожного газоаналізатора, а величина  $I_0(\lambda)$ ,  $I(\lambda)$  - вимірюються . Таким чином, визначення концентрації газу, що аналізується, зводиться до вимірювання величини, яка пропорційна вимірюємії:

$$\ln(I_0(\lambda) \cdot I(\lambda)^{-1}) \quad (3.3)$$

Переваги оптичного абсорбційного методу:

1. Для абсорбційного методу використовують весь спектр електромагнітних коливань.
2. Метод має високу чутливість і вибірковість.
3. Висока швидкодія.
4. Можливість автоматизації процесу вимірювання, а також сполучення з ЕОМ.
5. Широкий діапазон вимірювання концентрацій окису вуглецю, двоокису вуглецю та вуглеводнів.
6. Висока точність вимірювання.

Недоліки:

Так як інфрачервоні аналізатори можуть застосовуватися для визначення дуже багатьох речовин, то це може виявитися і одним з їх недоліків, особливо при аналізі складних сумішей, коли лінії поглинання окремих речовин,

наприклад CO та CO<sub>2</sub>, перекриваються та результати визначення стають неточними чи зменшується селективність, що характерно головним чином для бездисперсійних газоаналізаторів. Але в даному проекті використовується дисперсійний газоаналізатор (з розкладенням світла), тому цей недолік не такий великий в даному випадку.

Розглянутий метод являється найбільш вдалим та раціональним для вирішення поставленої задачі, він має високу чутливість і вибірковість, високу швидкодію, широкий діапазон вимірювання, що є дуже важливим, має високу точність і є одним з найсучасніших, найдосконаліших методів аналізу. Особливо він підходить для аналізу CO у викидах димових газів, так як у достатній мірі задовольняє вимоги технічного завдання. А недоліки тут є несуттєвими і легко можуть бути усунені.

Відносна простота конструкції підвищує технологічність виробу. І нарешті, цей метод забезпечує необхідний нам діапазон вимірювання.

### 3.2 Огляд і аналіз засобів вимірювання концентрації CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>

#### 3.2.1 Комплексний аналізатор димових газів SG800

Комплексний аналізатор димових газів SG800 являє собою серію аналізаторних систем, призначених для комплексного аналізу димових газів.



Рисунок 3.5 - Загальний вигляд комплексного аналізатора димових газів SG800

Основна область використання таких систем - безперервний контроль викидів в атмосферу. SG800 виконуються у вигляді шафи або стійки, комплектуються інфрачервоним газовим аналізатором, цирконієвим аналізатором кисню й системою пробоподготовки й можуть одночасно вимірювати концентрацію до 5 компонентів, таких як диоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), окисли азоту ( $\text{NO}_x$ ), монооксид вуглецю ( $\text{CO}$ ), диоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) і кисень ( $\text{O}_2$ ).

Особливості серії:

- одночасний вимір до 5 компонентів -  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  й  $\text{O}_2$ .
- ефекти впливу присутності інших газів на виміри зведені до мінімуму.

Використання перешкодомпенсуючих детекторів в аналізаторній секції практично усуває ефекти впливу присутності інших газів на виміри.

- високонадійний цирконієвий аналізатор кисню. Для виміру концентрації кисню в системі SG800 може входити цирконієвий детектор кисню із чудовою довгостроковою стабільністю й відмінною надійністю.

- велика розмаїтість функцій, включаючи функцію самодіагностики, що збільшує надійність роботи системи. Система характеризується наявністю багатьох функцій - стандартним автоматичним калібруванням, перетворенням до  $\text{O}_2$  - базованих значень, усередненням, сигналізацією по верхньому рівні, і т.д.

- великий динамічний діапазон. Системи серії SG800 мають високу чутливість і широкий динамічний діапазон, що дозволяє робити перемикання діапазонів 1:20.

Таблиця 3.2 - Основні характеристики комплексного аналізатора димових газів SG800

|                 |  |
|-----------------|--|
| Об'єкти виміру  | Концентрація $\text{NO}_x$ , $\text{SO}_2$ , $\text{CO}$ , $\text{CO}_2$ , $\text{O}_2$ у димових газах.   |
| Метод вимір -   | $\text{NO}_x$ , $\text{SO}_2$ , $\text{CO}$ й $\text{CO}_2$ : метод недиспергуючої інфрачервоної абсорбції |
| Діапазон виміру | $\text{NO}_x$ : хв. 0 ~ 50 ppm, Макс. 0 ~ 2000 ppm   |



|   |   |
|---|---|
|   | SO <sub>2</sub> : хв. 0 ~ 50 ppm, Макс. 0 ~ 1000 ppm<br>CO: хв. 0 ~ 100 ppm, Макс. 0 ~ 2 про.<br>CO <sub>2</sub> : хв. 0 ~ 1 про. %, Макс. 0 ~ 20 про.<br>O <sub>2</sub> : хв. 0 ~ 10 про. %, Макс. 0 ~ 25 про. |
| Дисплей   | цифровий світлодіодний  |
| Вихідний сигнал:<br>(NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , і O <sub>2</sub> ) | 4 ~ 20 мА постійного струму (опір навантаження: не більше 550 Ом) або 0 ~ 1 В постійного струму. Вибір до 12 вихідних сигналів.   |
| Контактні вихідні сигнали   | сигнали збою, відключення живлення, висока концентрація, техобслуговування, калібрування, ідентифікація діапазону   |
| Контактні вхідні сигнали  | дистанційне перемикання діапазонів, запуск калібрування, скидання середнього  |
| Калібрування  | напівавтоматична або автоматична  |
| Живлення  | 100, 110, 115, 220, 240 В змінного струму ± 10%,<br>50/60Гц ± 1%  |
| Споживча потужність   | 1...1,2 кВт   |

### 3.2.2 Комплексний аналізатор димових газів IR100

Модель IR100 - інтелектуальний інфрачервоний газовий аналізатор для виміру CO<sub>2</sub>, CO й CH<sub>4</sub>. Аналізатор простий в обслуговуванні й стабільно працює протягом тривалого періоду.

Модель IR100 - інтелектуальний інфрачервоний газовий аналізатор для виміру CO<sub>2</sub>, CO й CH<sub>4</sub>. Аналізатор простий в обслуговуванні й стабільно працює протягом тривалого періоду. Ідеальним застосуванням для даного аналізатора є безперервні виміри для контролю й моніторингу процесів горіння в різних промислових печах.



Рисунок 3.6 - Загальний вигляд комплексного аналізатора димових газів IR100

Особливості серії:

- є два виконання: моделі IR100TA й IR100A, призначені для аналізу одного з газів: CO<sub>2</sub>, CO або CH<sub>4</sub>; і моделі IR100TB й IR100B, призначені для одночасного аналізу CO<sub>2</sub> й CO.

- спеціальна оптична система зменшує дрейф показань, що звичайно викликається забрудненням вимірювального середовища; тому аналізатор працює стабільно протягом тривалого часу.

- прилад характеризується простотою техобслуговування, тому що аналізатор легко розділяється на кілька базових блоків. Крім того, немає необхідності в налаштуванні оптичного балансу.

- широка розмаїтість додаткових функцій: самодіагностика, просте калібрування (напівавтоматична, автоматична), дистанційне перемикання діапазонів, ідентифікація діапазону.

Таблиця 3.3 - Основні характеристики комплексного аналізатора димових газів IR100

|                 |  |
|-----------------|--|
| Об'єкти виміру  | CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>  |
| Метод виміру    | метод недисперсної інфрачервоної абсорбції, метод відхилення, одиночне джерело інфрачервоного випромінювання |
| Діапазон виміру | CO <sub>2</sub> : 0 ~ 500 ppm<br>CO: 0 ~ 500 ppm<br>CH <sub>4</sub> : 0 ~ 1000 ppm                           |
| Дисплей         | світлове табло   |

|                     |   |
|---------------------|---|
| Вихідний сигнал     | - вихідний сигнал 1: 0 ...1 В постійного струму.,<br>неізолювані, лінеаризовані вихідні сигнали;<br>- вихідний сигнал 2: 4 ...20 мА пост.струму (опір навантаження не більше 550 Ом), одночасні, неізолювані або лінеаризовані вихідні сигнали. |
| Похибка             | ±1% повної шкали для вторинного діапазону<br>(високий діапазон).<br>Дрейф нуля: ±2% повної шкали/тиждень.<br>Дрейф діапазону: ±2% повної шкали/тиждень.   |
| Калібрування        | напівавтоматичне або автоматичне калібрування   |
| Живлення            | 100, 115, 220 В зм.струму ±10%, 50/60Гц ±1%   |
| Споживча потужність | максимум 37 Вт  |

### 3.2.3 Багатокомпонентний газовий аналізатор 325 ФА 20

Газоаналізатор призначений для безперервного виміру концентрації окиду вуглецю (CO), окиду азоту (NO), діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>), діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>) і діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) в підготовленій газовій пробі.

Сфера застосування. Екологічний і технологічний контроль димових газів енергетичних установок, котельних, теплових електростанцій і газів промислових підприємств, що відходять. Автоматична підготовка аналізованої проби в умовах експлуатації (осушення, очищення від механічних часток) здійснюється за допомогою системи підготовки газів СПГ- 01



Рисунок 3.7 - Загальний вигляд багатокомпонентного газового аналізатору 325  
ФА 20

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики багатокomпонентного газового аналізатору 325 ФА 20

| Вимірюваний компонент              | Метод виміру компонентів | Діапазон вимірів           | Похибка, % |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------|
| Окис вуглецю (CO)                  | інфрачервоний(ІЧ)        | 0 – 5000 мг/м <sup>3</sup> | ± 5,0      |
| Окис азоту (NO)                    | ІЧ                       | 0 – 5000 мг/м <sup>3</sup> | ± 5,0      |
| Діоксид сірки (SO <sub>2</sub> )   | ІЧ                       | 0 – 5000 мг/м <sup>3</sup> | ± 5,0      |
| Діоксид азоту (NO <sub>2</sub> )   | електрохімічний          | 0 – 1500 мг/м <sup>3</sup> | ± 5,0      |
| Діоксид вуглецю (CO <sub>2</sub> ) | ІЧ                       | 0 – 20 % об.               | ± 5,0      |

Газоаналізатор має інтерфейс RS 485 для передачі вимірювальної інформації на комп'ютер, на відстань до 1000 м. Живлення газоаналізатора - від мережі змінного струму напругою від 187 до 242 В частотою (50 ± 1) Гц. Споживана потужність не більше 45 ВА. Час прогрівання газоаналізатора не більше 60 хв. Габаритні розміри газоаналізатора не більші: 482,5x 132,5x 386 мм. Маса газоаналізатора 9 кг.

## РОЗДІЛ 4 КОНСТРУКЦІЙНО-РОЗРАХУНКОВИЙ

### 4.1 Вимоги до технічних характеристик газоаналітичного інформаційно-вимірювального комплексу процесів горіння

В багатьох країнах світу, особливо промислово розвинутих, проблема утилізації, спалювання сміття внаслідок якого в довкілля викидається значна кількість шкідливих газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N O}_2$ ,  $\text{CH}$ ), є одною з нагальних потреб суспільства [1,2,3]. Безумовною вимогою експлуатації таких виробництв є наявність систем екологічного інструментального моніторингу димових газів [4]. При цьому безпосередньо процес утворення шкідливих сумішей в зоні горіння твердих побутових відходів і керування цим процесом, як правило, випадає з системи екологічного моніторингу, що є суттєвим недоліком таких систем.

За прототип вибрана багатоканальна еколого-технологічна комп'ютеризована газоаналітична, техногенна система екологічного моніторингу і оптимізації процесів горіння, з використанням новітніх досягнень в області високих технологій сенсорики і комп'ютерної обробки інформації, описана в [5,6].

Система складається з високочутливого газоаналізатора 1513X02, що вимірює концентрацію кисню, ( $\text{O}_2$ ) у зоні виходу продуктів горіння кожного котла [7], Окрім того, до складу комплексу входить багатоканальний газоаналізатор 325ФА01, реалізований на методі інфрачервоної спектроскопії, що вимірює оксид вуглецю ( $\text{CO}$ ), діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) і метан ( $\text{CH}_4$ ). Особливістю газоаналізатора 325ФА01 є оптична схема із застосуванням нульового (опорного) каналу, схема очистки високотемпературної ( $T\ 1000\ ^\circ\text{C}$ ) забрудненої газової проби, надійність, автоматична самодіагностика, резервування основних функцій роботи. Прилади розміщені в спеціально обладнаній герметизованій шафі з автоматизованою системою терморегуляції. Шафа кріпиться до зовнішньої стінки котлоагрегату.

Основні технічні і метрологічні характеристики комплексу наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Основні технічні і метрологічні характеристики комплексу

| № п/п | Вимірювальний компонент            | Діапазон вимірювання     | Похибка вимірювання | Метод вимірювання   |
|-------|------------------------------------|--------------------------|---------------------|---|
| 1     | Оксид вуглецю (CO)                 | 0...0,4 %                | < 3 %               | Інфрачервона спектроскопія                                      |
| 2     | Діоксид вуглецю (CO <sub>2</sub> ) | 0...15,0 %               | < 3%                | Інфрачервона спектроскопія                                      |
| 3     | Метан (CH <sub>4</sub> )           | 0...2,0 г/м <sup>3</sup> | < 3%                | Інфрачервона спектроскопія                                      |
| 4     | Кисень (O <sub>2</sub> )           | 0...21,0 %               | < 3%                | Електрохімічний з твердоелектролітним сенсором ZrO <sub>2</sub> |

Високотемпературний зонд газоаналізатора 151 ЗХ 02 через фланець у стінці вводиться безпосередньо в камеру згоряння сміття. На торці зонда знаходиться цирконієвий сенеор-датчик (ZrO<sub>2</sub>), здатний працювати і проводити вимірювання O<sub>2</sub> в зоні високих температур ~ 600 °С. Конструктивні вирішення приладу дозволяють виключити складні пристрої пробовідбору і пробопідготовки та забезпечують довгостроковий режим експлуатації в екстремальних умовах.

#### 4.2 Вимоги до конструктивного виконання інформаційно-вимірювального комплексу

До складу комплексу інформаційно-вимірювального комплексу повинні входити:

1. газоаналізатори інфрачервоні;
2. газоаналізатор електрохімічний цирконієвий;
3. пристрої пробовідбору;
4. пристрої пробопідготовки;
5. пристрої збору, передачі і перетворення інформації для комп'ютерної обробки;

6. персональна електронно-обчислювальна машина.

Кількість енергетичних установок, що обслуговуються комплексом - 4.

4.3. Діапазони вимірювання об'ємної частки газових компонентів і межі основної приведенної похибки

Діапазони вимірювання об'ємної частки газових компонентів і межі основної приведенної похибки, що допускається, газоаналізаторів комплексу ЕІК-01 повинні відповідати значенням, приведеним у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Діапазони вимірювання і межі похибки

| Вимірювальний компонент            | Діапазон вимірювання | Межа основної приведенної похибки, що допускається, % |
|------------------------------------|----------------------|---|
| Оксид вуглецю (CO)                 | 0...0,4              | ± 5   |
| Діоксид вуглецю (CO <sub>2</sub> ) | 0...0,2              | ± 5   |
| Метан (CH <sub>4</sub> )           | 0...15               | ± 5   |
| Кисень (O <sub>2</sub> )           | 0...25               | ± 5   |

4.4 Умови експлуатації енергозберігаючого інформаційно-вимірювального комплексу

Газоаналітичний інформаційно-вимірювальний комплекс повинний працювати при наступних умовах експлуатації:

1. температура навколишнього середовища від 5 до 35 °С;
2. температура навколишнього середовища від 5 до 70 °С;
3. відносна вологість навколишнього середовища до 95 % при 25 °С;
4. атмосферний тиск від 95 до 103,2 кПа;
5. електроживлення від мережі змінного струму напругою від 198 до 242 В.

#### 4.5 Методи і засоби атестації, перевірки і калібрування газоаналітичних приладів

Методи і засоби атестації, перевірки і калібрування газоаналітичних приладів повинні відповідати вимогам ТУ 50.12 України 001-92 «Стандартні зразки сполуки - повірочні газові суміші».

#### 4.6 Обґрунтування методу вимірювання концентрації викидів котелень

Оскільки викиди з котелень мають природу поєднання багатьох речовин, то для аналізу кожної необхідний окремий датчик, що базується на власному методі проектування. Всі ці датчики (аналізатори) утворюють інформаційно-вимірювальний комплекс викидів котелень.

Абсорбційний метод аналізу відноситься до числа найбільш чутливих і вибіркових методів газового аналізу в інфрачервоній (ІЧ) області спектра, заснований на вибіркового поглинанні суцільного спектра ІЧ випромінювання аналізованим компонентом газової суміші [3].

Поглинання ІЧ випромінювання зв'язане з молекулярною будівлею речовини і залежить від його структури, типу та енергії хімічних зв'язків у молекулі. Наявність смуг поглинання різної інтенсивності дозволяє вибрати оптимальні умови вимірювання, а також розробляти прилади з високою вибірковою здатністю.

Основні переваги абсорбційний методу аналізу в ІЧ області спектра це: висока швидкодія; широкий діапазон вимірювання концентрацій окису вуглецю та вуглеводнів; висока точність вимірювання.

Інфрачервоним методом визначення сполук речовин вирішують багато задач у різних галузях промисловості, таких як хімічна, металургійна, нафтова і т.д. Цей метод використовується також для контролю вмісту сполуки відпрацьованих газів ДВЗ, особливо їхніх токсичних компонентів. Здатністю поглинати ІЧ випромінювання володіють гази, молекули яких складаються з двох, чи більшого числа різноелементних атомів чабоіонів ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ). Суть методу в наступному: у вимірювальну кювету закачується досліджуваний газ. Кювета побудована таким чином, що в одному її торці



розташований інфрачервоний випромінювач, в іншому - приймач випромінювання. Досліджуваний газ, внаслідок своїх фізичних властивостей, поглинає визначену кількість ІЧ випромінювання. Таким чином, по різниці випроміненого та прийнятого сигналу можна обчислити концентрацію досліджуваного компонента. Використання ІЧ газоаналізаторів для визначення сполук речовини дає можливість визначити концентрації двоатомних (багатоатомних) газів, найбільш важливі з яких є окис вуглецю (СО), двоокис вуглецю (СО<sub>2</sub>), вуглеводні та метан (СН<sub>4</sub>).

Інфрачервоний метод знайшов широке застосування для визначення різних речовин та, упершу чергу, органічних сполук при малих та великих концентраціях їх у газових сумішах. ІЧ метод аналізу базується на основному законі поглинання електромагнітного випромінювання законі Бугера-Ламберта [3]:

$$\Phi_0 e^{-z_\lambda c l} = \Phi_0 e^{-D},$$

де  $\Phi_0$ - інтенсивність світлового потоку;

$\Phi$ - інтенсивність світлового потоку після проходження шару речовини;

$z_\lambda$  - коефіцієнт поглинання;

$C$  - концентрація;

$l$  - товщина шару;

$D$  - оптична густина речовини.

В аналітичні можливості ІЧ спектроскопії можна включити велику кількість речовини, спектр яких має хоча б одну смугу поглинання ІЧ випромінювання. Спектр поглинання деяких речовин зображений на рисунках 4.1-4.3.

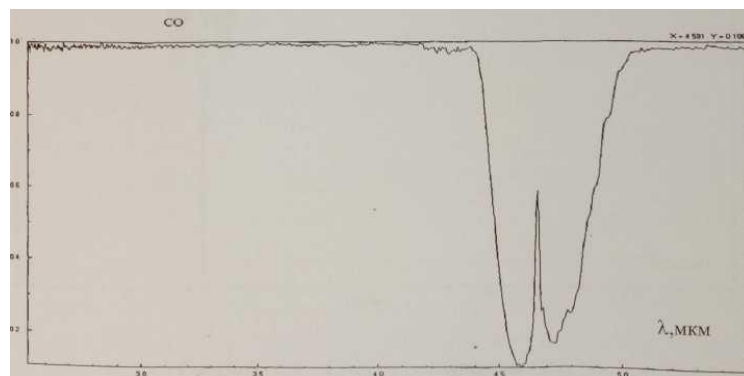


Рисунок 4.1 - Спектр поглинання СО

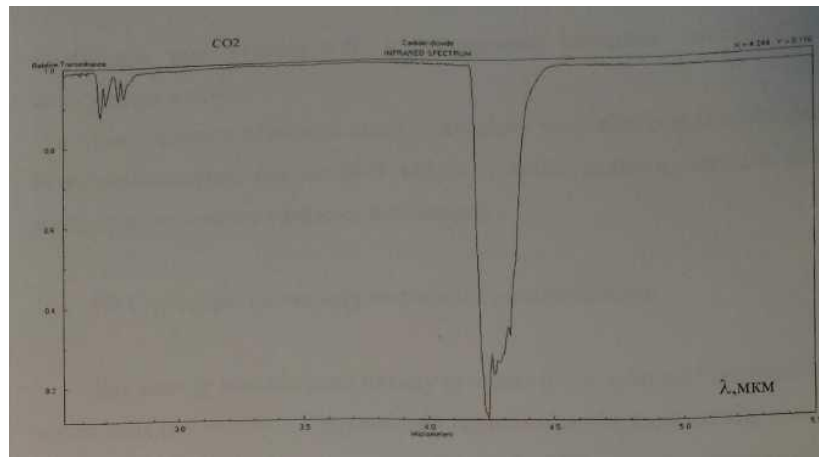


Рисунок 4.1 - Спектр поглинання CO<sub>2</sub>

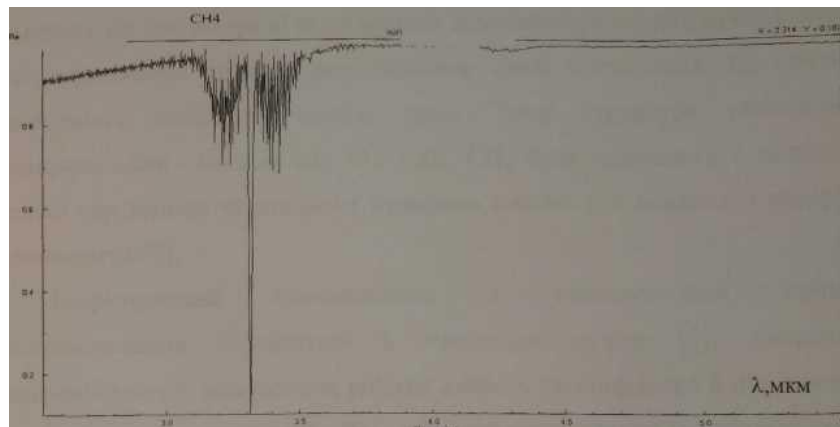


Рисунок 4.1 - Спектр поглинання CH<sub>4</sub>

Враховуючи можливості ІЧ техніки, основним діапазоном аналізу складу речовин вважають область ІЧ спектра до 15 мкм. Однак, у даний час усі ІЧ аналізатори працюють, в основному, у ближній, та частково, у середній області ІЧ спектра, а використання більш довгохвильової частини спектра обмежена відсутністю надійних джерел та приймачів випромінювання, дешевих та загальнодоступних оптичних матеріалів і т.д. Усе це знижує надійність аналізаторів при експлуатації, а в окремих випадках виключає застосування зовсім.

Тому однією з основних задач ІЧ аналізу є розробка спеціальних ІЧ випромінювання, що могло б виділити вузькі ділянки спектра, тільки тому чи іншому газовому компоненту.

#### 4.7 Структурні схеми інфрачервоних газових аналізаторів

Для аналізу концентрації оксиду вуглецю (CO), діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) і вуглеводнів (по метану - CH<sub>4</sub>) вибрано оптико-абсорбційний метод, оснований на вимірюванні поглинання інфрачервоної (ІЧ) енергії випромінювання аналізуємим компонентом. Ступінь поглинання ІЧ енергії випромінювання залежить від концентрації аналізуємого компонента в газовій суміші. Кожному газу притаманна своя область довжини хвилі поглинання. Це обумовлює можливість вибірного аналізу газів. Тому структура аналітичних і вимірювальних каналів для CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> буде однаковою і відрізняється тільки керуванням чутливості і нульовою точкою для кожного з вимірюємих компонентів [9].

Інфрачервоний газоаналізатор з неселективним приймачем випромінювання складається з наступних вузлів [3]: джерела ІЧ-випромінювання, модулятора, робочої кювети, світлофільтра й підсилювально-вимірювального пристрою. Всі однопроменеві недиференціальні прилади мають істотний недолік: сигнал із приймача змінюється зі зміною його чутливості, інтенсивності випромінювання джерела й посилення, тому необхідно часте калібрування, що вимагає чимало часу, і, крім того, це не завжди зручно для приладів безперервної дії.

В сучасних багатоканальних недисперсійних ІЧ газоаналізаторах доцільно використовувати багатоканальну однопроменеву (рисунок 4.4) оптичну схему. Це обумовлено тим, що застосування однопроменевої (тобто однокюветної) схеми дозволяє спростити оптичну схему приладу і суттєво зменшити похибку аналізу, обумовлену неселективними впливаючими фізичними величинами, наприклад, практично усунути вплив забруднення робочої кювети аналізатора. Число аналітичних каналів в недисперсійному багатоканальному ІЧ газоаналізаторі рівне числу аналізованих компонентів аналізуємої суміші, які мають смуги поглинання в ІЧ діапазоні, а число спектральних оптичних каналів звичайно на одиницю більше числа аналізованих компонентів, тобто в даному випадку порівняльний канал являється спільним для всіх аналітичних каналів CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>.

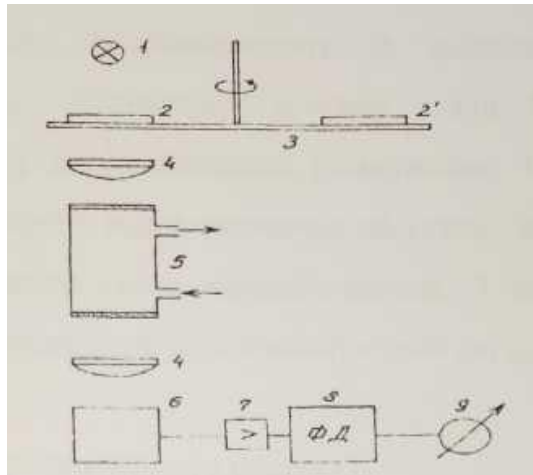


Рисунок 4.4 - ІЧ аналізатор:

- 1– випромінювач; 2 та 2' – світловий фільтр; 3 обтюратор; 4 – конденсор;  
 5– вимірювальна кювета; 6 – приймач випромінювання; 7 – підсилювач;  
 8 – фазочутливий детектор; 9 – реєстратор

В недисперсійному аналізі терміном «канал» називають спектральний інтервал, узгоджений зі смугою поглинання аналізованого компонента аналізованої суміші. Як вже зазначалось, технічне забезпечення кожного каналу багатоканального ІЧ газоаналізатора включає наступні основні компоненти: джерело ІЧ-випромінювання, модулятор, робоча кювета, світлофільтр і первинний підсилювач.

Останнім часом у ІЧ аналізаторах найчастіше використовуються піроелектричні приймачі ІЧ випромінювання. Їх перевагами є: велика швидкодія при високій пороговій чутливості; велике значення коефіцієнту перетворення; великий динамічний діапазон; не потребують джерел живлення.

Піроелектрики - це діелектричні речовини, які мають електричний момент без дії зовнішнього поля, у яких поляризація змінюється зі зміною температури. У піроелектричних приймачах використовують залежність діелектричної постійної від температури.

Принцип роботи піроелектричного приймача ІЧ випромінювання заснований на використанні піроелектричного ефекту, який являє собою поляризацію піроелектричного кристалу в часі при дії на нього модульованого потоку випромінювання.

Комутація потоку випромінювання за допомогою обтюратора з механічним приводом здійснюється шляхом зміни його положення по відношенню до потоку випромінювання (сканування). Обтюратор, котрий є непрозорим для оптичного випромінювання об'єктом, має прозорі вікна, які пропускають всі довжини хвиль випромінювання. Таким чином, на виході приймача випромінювання формується електричний сигнал.

#### 4.8 Структура вимірювального каналу $O_2$

Для аналізу концентрації кисню в процесах горіння як правило використовують цирконієву технологію. Діоксид цирконію має унікальну властивість: при температурах понад  $500\text{ }^\circ\text{C}$  діоксид цирконію, легований оксидами ітрію або кальцію, стає проникним для іонів кисню. Якщо по різні сторони пластинки з діоксиду цирконію перебувають гази з різним парціальним тиском кисню, то в кристалічній решітці пластинки виникає потік іонів кисню, спрямований у бік газу з меншим парціальним тиском кисню. При цьому на протилежних сторонах пластинки виникає різниця потенціалів. Дана властивість діоксиду цирконію використовується для вимірювання концентрації кисню в газах.

Головною особливістю цирконієвої технології є можливість установки вимірювального перетворювача безпосередньо у високотемпературний процес, що дозволяє створювати аналізатори, не потребує дорогих систем відбору й підготовки проби. До головних переваг цирконієвої технології варто віднести:

- стійкість до кисневого шоку;
- значно більша висока швидкодія в порівнянні з електрохімічними аналізаторами;
- можливість проведення безпосередніх вимірювань в «вологодому» середовищі в газах з температурою точки роси до  $180\text{ }^\circ\text{C}$ .

Принципова схема вимірювального перетворювача  $O_2$  представлена на рисунку 4.5 [5].

Диск із діоксиду цирконію виступає як роздільник між досліджуваним й опорним газом, звичайно в якості останнього виступає повітря. До кожної сторони диска підведені платинові електроди. При нагріванні диска виникає

ЕРС, величина якої залежить від розходження в концентраціях кисню по різні сторони диску.

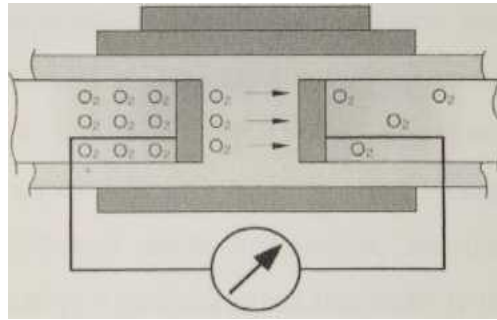


Рисунок 4.5 - Цирконієвий сенсор

Значення ЕРС пропорційно логарифму відношення парціального тиску кисню в досліджуваному й опорному газі. Дане співвідношення виражається формулою Нернста [1]:

$$E = (RT/4F) \cdot (\ln P_2 / P_1), \quad (4.1)$$

де: R - універсальна газова стала;

T - температура;

F - стала Фарадея;

P<sub>2</sub> - парціальний тиск кисню в опорному газі;

P<sub>1</sub> - парціальний тиск кисню у досліджуваному газі.

Для вимірювання концентрації кисню застосовано автоматичний аналізатор кисню 1513X02. Даний прилад призначений для вимірювання вмісту кисню в димових газах, що відходять, котлоагрегатів різної потужності. Комітетом України по стандартизації, метрології й сертифікації був виданий сертифікат відповідності А-М1/2-266-98. Прилад внесений до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, допущених до застосування в Україні за № УД45-98.

Даний прилад рекомендується для використання в системах автоматичного регулювання співвідношення паливо-повітря з метою підвищення ККД котлоагрегату й зменшення шкідливих викидів в атмосферу при спалюванні будь-яких видів палива.

Первинний вимірювальний перетворювач приладу сконструйований у вигляді зонда, що дозволяє встановлювати його безпосередньо в димовому потоці без складних пристроїв забору проби й пробопідготовки. При

необхідності сенсор кисню може бути легко замінений в умовах експлуатації. Метод аналізу, реалізований даним аналізатором, виключає застосування складних пристроїв відбору й пробопідготовки аналізованого газу.

Високотемпературний зонд газоаналізатора 1513X02 через фланець у стінці котлоагрегату вводиться безпосередньо в камеру згоряння. На торці зонду знаходиться цирконієвий сенсор ( $ZrO_2$ ), здатний працювати і проводити вимірювання  $O_2$  в зоні високих температур (600...800) °С.

В аналізаторі передбачені пристрої захисту сенсора від перегріву й проведення калібрування аналізатора без демонтажу його на об'єкті.

За допомогою аналогового вихідного сигналу аналізатор підключається до обчислювального комплексу для роботи в складі автоматизованої системи.

Основні технічні характеристики аналізатора 151 EXO2 наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Основні технічні характеристики аналізатора 151 EXO2

|  |            |
|--|------------|
| Діапазон вимірювання, %                              | 0,25 –21   |
| Границя допустимої основної приведенної похибки, %   | 2,5        |
| Час встановлення показів, с                          | 15         |
| Максимальна температура в зоні установки сенсора, °С | 800        |
| Живлення від мережі змінного струму, В/Гц            | 220/50     |
| Вихідний сигнал, мА                                  | 0,5; 4 –20 |
| В  | 0 – 10     |

#### 4.9 Структура вимірювальних каналів $CO$ , $CO_2$ , $CH_4$

На виході приймача випромінювання формується електричний сигнал, котрий наближається до прямокутної форми. Висота імпульсів пропорційна відповідній енергії випромінювання, котра залежить від довжини хвилі та шляху проходження і несе інформацію про об'єкт, що аналізується.

З певним наближенням сигнал на виході приймача можна представити так, як показано на рисунку 4.6.

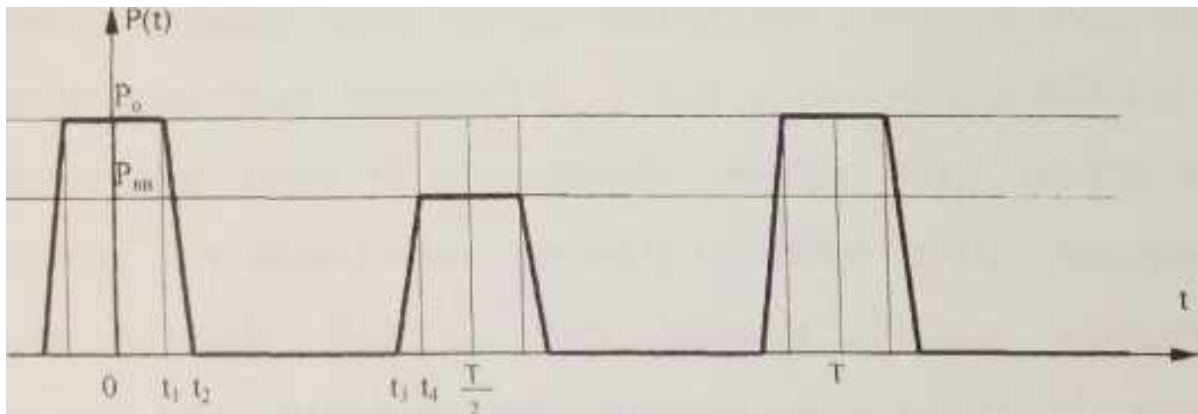


Рисунок 3.6 - Сигнал на виході модулятора де:

$t_1$  - момент часу, коли фотоприймач починає закриватись обтюратором при проходженні аналітичного вимірювального каналу;

$t_2$  - момент часу, коли фотоприймач закінчує закриватись обтюратором при проходженні аналітичного вимірювального каналу;

$t_3$  - момент часу, коли фотоприймач починає відкриватись обтюратором при проходженні аналітичного порівнювального каналу;

$t_4$  - момент часу, коли фотоприймач закінчує відкриватись обтюратором при проходженні аналітичного порівнювального каналу.

Необхідно врахувати, що вимірювання не може проводитися безпосередньо на виході приймача випромінювання через малий рівень вихідного сигналу.

Підсилення ж всього імпульсу недоцільно через те, що вимірювальна інформація зосереджена в різниці висот опорного та вимірювального імпульсів. Де, котра може складати лише частку або одиниці відсотку висоти імпульсу. Тому нижня частина імпульсів в чутливих приладах повинна бути відрізаною на однаковому рівні  $U_1$ , і підсилюється тільки частина імпульсів, котра знаходиться вище рівня  $U_1$ . Інакше просто неможливо отримати високе підсилення сигналу через обмеженості динамічного діапазону каналу підсилення.

Через те, що вимірювальна інформація зосереджена в різниці висот імпульсів, то природнім було б здійснювати вимірювання амплітудного



значення напруги. Але наявність високого рівня шумів та перешкод при цьому внесе значну похибку через те, що амплітудне значення буде відображати максимальну амплітуду викидів [10]. З цієї точки зору найбільш підходить вимірювання середнього та ефективного значень, котрі значно зменшують вплив шумів. Для підвищення точності газоаналізатора використовується порівняння сигналів  $W_x$  і  $W_{ср}$  шляхом їхнього віднімання, чим забезпечується придушення фонових сигналів в нульовій точці шкали й істотне зменшення адитивних похибок газоаналізатора.

З урахуванням проведеного аналізу вимірювальний канал повинен виконувати наступні операції:

1. підсилення корисної частини імпульсу;
2. вимірювання середнього квадратичного значення імпульсів прямокутної форми;
3. виділення різниці вимірювального і порівняльного сигналу;
4. перетворення напруги періодичних сигналів в цифровий код;
5. обчислення концентрації відповідного компонента газової суміші.

На рисунку 4.7 наведена вибрана структура вимірювального каналу  $CO_2$ .

Структура каналів  $CO$  і  $CH$  аналогічна. Це обумовлено використанням одного методу і застосуванням багатопроменевого ІЧ-аналізатора для аналізу концентрації багатокомпонентної газової суміші.

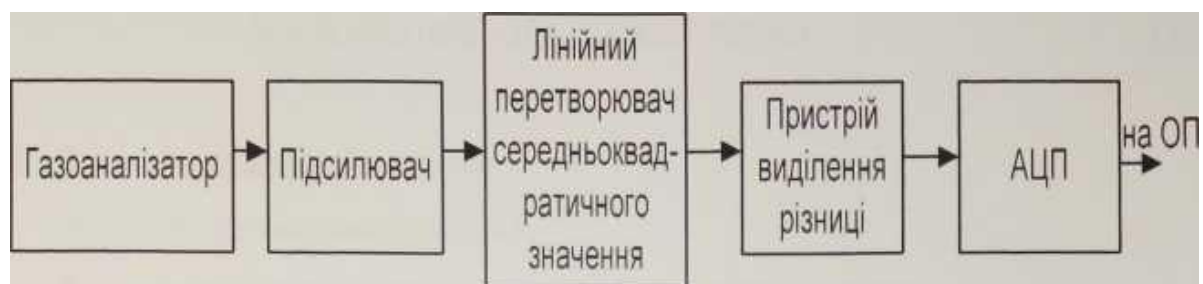


Рисунок 4.7 – Структура вимірювального каналу  $CO_2$

Дана схема являється схемою прямого перетворення. Сигнал з газоаналізатора надходить на вхід попереднього підсилювача. Амплітуда сигналу досить мала (200...400 мкВ). Попередній підсилювач виконує масштабне перетворення до рівня приблизно 0,5 В. Для цього необхідно забезпечити коефіцієнт передачі  $K_1=100$ . Оскільки підсилення всього імпульсу недоцільне, то попередній підсилювач повинен підсилювати тільки змінну

складову послідовності імпульсів. Також цей пристрій повинен максимально точно передавати форму прямокутних імпульсів.

Після підсилення сигнал надходить на вхід лінійного перетворювача середньоквадратичного значення (СКЗ). Для імпульсів прямокутної форми середньоквадратичне значення рівне амплітудному. Коефіцієнт передачі цього пристрою  $K_2 = 10$ . Вимірювання СКЗ дозволяє визначити амплітуду імпульсів і зменшити при цьому вплив шумів і викидів.

Згідно з вибраним алгоритмом аналізу концентрації компонента  $\text{CO}_2$  необхідно виділити різницю двох сигналів: вимірювального і порівняльного. При цьому значно зменшуються адитивні похибки газоаналізатора і попередніх пристроїв вимірювального каналу. Це дозволяє значно покращити метрологічні характеристики системи. Різниця амплітуд імпульсів буде невеликою (0,1...0,5 В), тому необхідне підсилення  $K_3 = 10$ .

На вході АЦП одержуємо напругу постійного струму яка пропорційна концентрації аналізованого компонента. Відцифроване значення поступає в обчислювальний пристрій для подальшого обчислення концентрації.

Відцифрований сигнал на виході АЦП можна представити у вигляді:

$$Y = (X_1 \cdot K_1 \cdot K_2 - X_2 \cdot K_1 \cdot K_2) \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (4.12)$$

де  $X_1$  - порівняльний сигнал;

$X_2$  - вимірювальний сигнал;

$K_1$  - коефіцієнт передачі попереднього підсилювача;

$K_2$  - коефіцієнт передачі перетворювача СКЗ;

$K_3$  - коефіцієнт передачі пристрою виділення різниці;

$K_4$  - коефіцієнт передачі АЦП.

Провівши прості арифметичні перетворення одержимо:

$$Y = (X_1 - X_2) \cdot K_1 K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (4.13)$$

Вираз (4.13) дозволяє знано спростити аналіз коефіцієнта передачі ВК і його похибок.

#### 4.10 Аналіз градуювальних характеристик каналів $\text{CO}$ , $\text{CH}_m$ , $\text{CO}_2$

Залежність вихідного сигналу вимірювального каналу від концентрації аналізованого компонента  $y(x)$  визначається функціями поглинання  $Z(x)$  або

пропускання  $T(x)$ , які мають нелінійний характер. Моделі функцій  $T(x)$ ,  $Z(x)$  визначаються на стадії градування кожного з каналів системи по повірочним газовим сумішам (ПГС), коли визначаються градувальна характеристика )  $j$ -го аналітичного каналу  $y(x)$ , яка являється емпіричною оцінкою невідомої номінальної характеристики  $y(x)$ .

При побудові нелінійних градувальних характеристик  $y(x)$  для аналізуємих компонентів виникає задача апроксимації отриманих емпіричних даних нелінійними функціональними залежностями. Вдалим виявилася запропонована методика апроксимації статичної характеристики (СХ) газоаналітичних перетворювачів степеневими функціями виду [1]

$$y_0(x, m) = \frac{B}{K_m} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{K_m \cdot x}{m} \right)^{1-m} - 1 \right] \quad (4.13)$$

Де  $x$  - інформативний параметр;

$B, K$  - параметри апроксимації;

$m$  - показник степеневі функції.

При зміні показника  $m$  від 0 до 2 апроксимуюча функція відображає відповідно: лінійну СХ  $y_a = B x$ , ( $m \rightarrow 0$ ), закон квадратного кореня ( $m = 0,5$ ), логарифмічний закон ( $m = 1$ ), гіперболічний закон ( $m = 2$ ) і ін. Апроксимація проводиться методом найменших квадратів, тобто мінімізується відносне квадратичне відхилення  $y(x, B, K, m)$  від  $y(x_j)$ , тобто цільова функція має вигляд

$$f(K, B, x_j) = \frac{1}{n} \sum_1^n \left( \frac{y_0(x_i) - y(x_j)}{y(x_j)} \right)^2 \quad (4.14)$$

де  $n$  - кількість ПГС, яка використовується при емпіричній побудові  $y(x)$ .

Приклади отриманих нами експериментально градувальних характеристик трьох аналітичних каналів ( $CO$ ,  $CH$ ,  $CO_2$ ) газоаналізатора представлені (в виді точок) відповідно на рисунках 4.8 - 4.10. На тих же рисунках суцільними лініями представлені апроксимації відповідних градувальних характеристик степеневими функціями виду (4.14), а також отримані відповідно до методу МНК параметри апроксимуючих функцій  $B, K, m$ . На наведених рисунках прийняті наступні позначення

$y_i$  - експериментальне значення вихідного сигналу;

$d_i$  - відносна похибка апроксимації в  $i$ -ій точці.

З наведених даних видно, що СХ всіх аналітичних каналів у діапазоні вимірювання вимірюваних концентрацій відповідних компонентів аналізованої суміші, є нелінійними, причому особливо сильною нелінійністю відрізняється характеристика каналу  $\text{CO}_2$ .

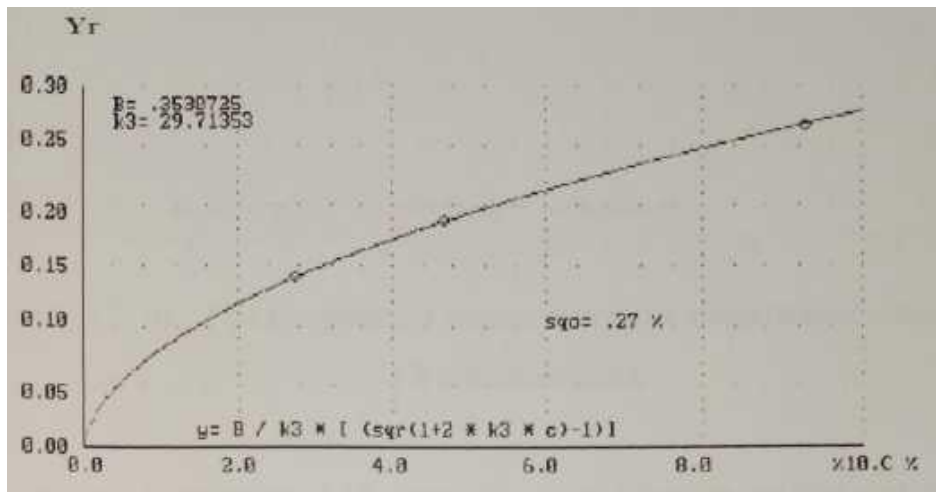


Рисунок 4.8 - Градувальна характеристика аналітичного каналу  $\text{CO}_2$  і її апроксимація

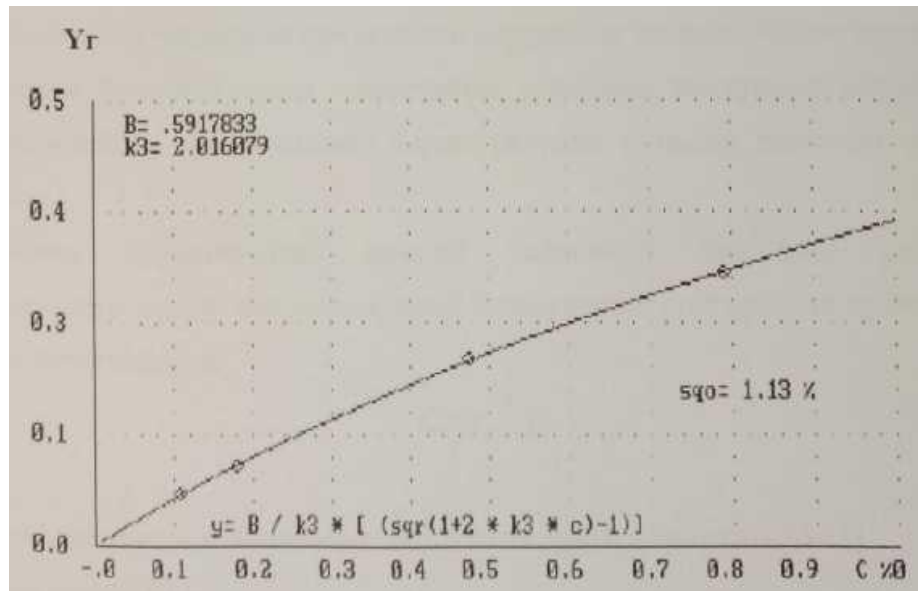


Рисунок 4.9 - Градувальна характеристика аналітичного каналу  $\text{CH}_4$  і її апроксимація

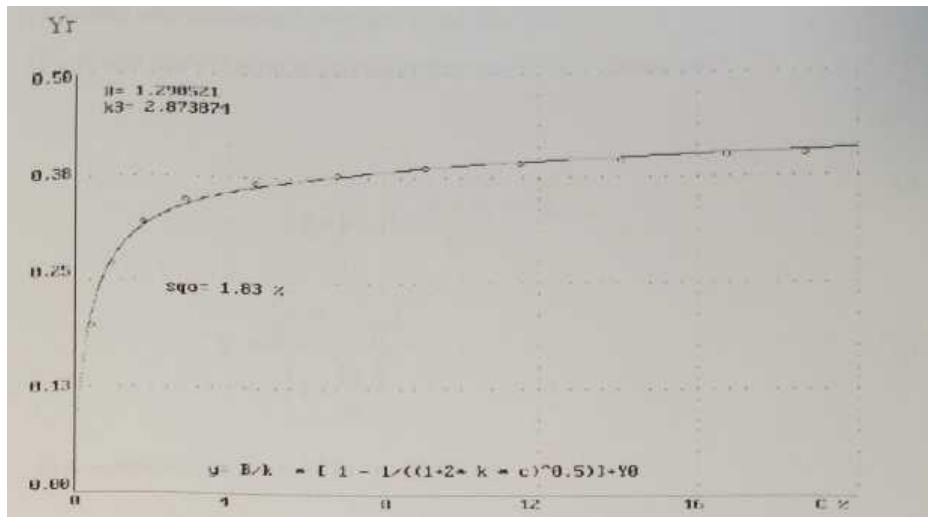


Рисунок 4.10 - Градууювальна характеристика аналітичного каналу  $\text{CO}_2$  і її апроксимація

Як видно з рисунка 3.10 сильною нелінійністю вирізняється область зміни концентрації  $\text{CO}_2$  від 0 до 2 %. Слід зауважити, що система працюватиме режимі вимірювання високих концентрацій  $\text{CO}_2$ . Зниження концентрації  $\text{CO}_2$  до 2 % і менше сигналізуватиме про серйозні порушення технологічного процесу, і такий режим функціонування енергетичної установки вважається аварійним. Тому нелінійністю градууювальної характеристики в цьому діапазоні можна знехтувати.

Маючи апроксимовані функції залежності вихідного сигналу вимірювального каналу від концентрації аналізованих компонентів проведемо зворотне перетворення:

$$C = f^{-1}(y) \quad (4.15)$$

де  $y$  — відцифроване значення вихідного сигналу ВК за виразом (4.12).

Для каналу  $\text{CO}_2$ :

$$y = \frac{B}{K} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cdot K \cdot C}}\right) \quad (4.16)$$

де  $B=1,2985$ ;  $K=2,8739$  - параметри апроксимуючої функції.

Похибка апроксимації складає  $\delta=1,83$ .

Провівши прості арифметичні перетворення отримаємо:

$$C = \frac{1}{2 \cdot K \cdot \left(1 - \frac{K \cdot y}{B}\right)^2} - \frac{1}{2K} \quad (4.17)$$

$$C = \frac{\frac{y}{B} - \left(\frac{y}{2B}\right)^2}{\left(1 - \frac{Ky}{B}\right)^2} \quad (4.18)$$

Для каналу СО В=0,3531; К=29,7135 - параметри апроксимуючої функції.

$$y = \frac{B}{K} \cdot \left(\sqrt{1 + 2 \cdot K \cdot C} - 1\right) \quad (4.19)$$

$$C = \frac{\left(1 + \frac{K \cdot y}{B}\right)^2 - 1}{2K} \quad (4.20)$$

$$C = \frac{K \cdot y^2}{2B^2} + \frac{y}{B} \quad (4.21)$$

Похибка апроксимації складає  $\delta = 0,27 \%$ .

Для каналу СН вигляд функції  $C(y)$  аналогічний виразу (4.21) а значення параметрів апроксимуючої функції: В=0,5918; К=0,0161. Похибка апроксимації складає  $\delta = 1,13 \%$ .

#### 4.11 Аналіз похибок вимірювальних каналів СО, СО<sub>2</sub>

Аналізуючи вирази (4.18) і (4.21) дійдемо висновку, що похибка при визначенні концентрації буде визначатись похибкою вимірювання напруги на виході газоаналізатора і похибкою апроксимації функціональної залежності  $U_{BK} = f(C)$ . Похибкою при другій степені у в виразі (4.18) і (4.20) можна знехтувати. Згідно технічного завдання  $\delta_c < 3 \%$ . Отже похибка при визначенні концентрації

$$\delta_c = \delta_y + \delta_a \leq 3\% \quad (4.22)$$

де  $\delta_c$  - похибка при визначенні концентрації;

$\delta_y$  - похибка вимірювання напруги на виході газоаналізатора;

$\delta_a$  — похибка апроксимації

Користуючись виразом (4.22) знайдемо допустиму похибку вимірювання для кожного з каналів системи.

Для каналу СО<sub>2</sub>

$$\delta_y = 3 - 1,83 = 1,17 \text{ (\%)}$$

Для каналу CO

$$\delta_y = 3 - 0,27 = 2,73 \text{ (\%)}$$

Для каналу CH

$$\delta_y = 3 - 1,13 = 1,87 \text{ (\%)}$$

Оскільки структура вимірювальних каналів CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> однакова, то логічним було б використати однакову електричну принципову схему для їх побудови. Застосування ідентичних схем дозволить значно спростити процес виготовлення і експлуатації системи. Але при цьому необхідно забезпечити задану точність вимірювань. Тому для розробки вимірювального каналу задаємось похибкою  $\delta_y = 1,17 \text{ \%}$ .

Схема вимірювального каналу являє собою послідовне з'єднання наступних елементів: попереднього підсилювача, перетворювача СКЗ, віднімаючого пристрою і АЦП. Для аналізу похибок представимо вимірювальний канал у вигляді рисунок 4.11.

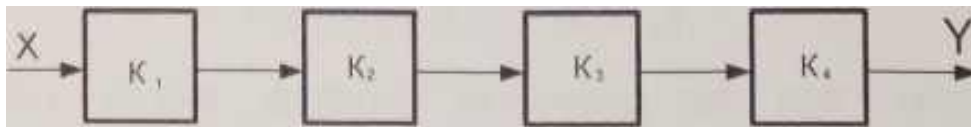


Рисунок 4.11 – Схема вимірювального каналу комплексу

Коефіцієнт перетворення такої системи можна записати у вигляді

$$K_{заг} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = \prod_{i=1}^4 K_i \quad (4.23)$$

Знайдемо адитивну похибку за формулою

$$y = x \cdot \prod_{i=1}^4 K_i + \Delta x_1 \cdot \prod_{i=1}^4 K_i + \frac{\Delta x_2 \cdot \prod_{i=1}^4 K_i}{K_1} + \frac{\Delta x_3 \cdot \prod_{i=1}^4 K_i}{K_1 \cdot K_2} + \frac{\Delta x_4 \cdot \prod_{i=1}^4 K_i}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} \quad (4.24)$$

$$\delta_{заг} = \frac{y - x \prod_{i=1}^4 K_i}{x \prod_{i=1}^4 K_i} = \delta_1 + \frac{\delta_2}{K_1} + \frac{\delta_3}{K_1 \cdot K_2} + \frac{\delta_4}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3} \quad (4.25)$$

З виразу (4.25) видно, що адитивна похибка вимірювального каналу являється зваженою сумою адитивних похибок відповідних ланок ВК. Але

враховуючи те, що  $K_1=1000$ ,  $K_2=10$  і  $K_3=10$  похибками  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  і  $\delta_4$  можна знехтувати оскільки коефіцієнт впливу для  $\delta_2$  рівний  $10^{-3}$ , а для  $\delta_3$  складає  $10^{-4}$ . Отже  $\delta_{заг} = \delta_1$ . Враховуючи той факт, що параметри елементів ВК досить стабільні і відхилення параметрів ВК відносно малі перепишемо вираз (4.25) з врахуванням адитивної похибки вимірювального каналу:

$$Y = ((X_1 - \Delta_1) - (X_2 - \Delta_1)) \cdot K_1 K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (4.26)$$

де  $\Delta_1$  - абсолютна адитивна похибка.

$$Y = ((X_1 - X_2 + \Delta_1 - \Delta_1)) \cdot K_1 K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = (X_1 - X_2) \cdot K_1 K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (4.27)$$

З виразу (4.27) можна зробити висновок, що при забезпеченні стабільності параметрів першого блоку (підсилувача) вимірювального каналу адитивна похибка не впливає на результат вимірювання. По цій причині аналіз похибок ВК зводиться до аналізу мультиплікативних складових похибок ланок вимірювального каналу.

З цією метою запишемо коефіцієнт передачі кожного блоку у вигляді

$$K_i = K_{i0} \cdot (1 + \gamma_i) \quad (4.28)$$

де  $K_i$  коефіцієнт передачі кожного блоку;

$\gamma_i$  - мультиплікативна похибка блоку.

Тоді коефіцієнт передачі каналу визначимо за формулою

$$K_{заг} = \prod_{i=1}^4 K_i = \prod_{i=1}^4 K_{i0} \cdot (1 + \gamma_i) \quad (4.29)$$

$$y_{заг} = \left( \frac{\prod_{i=1}^4 K_{i0} \cdot (1 + \gamma_i) - \prod_{i=1}^4 K_{i0}}{\prod_{i=1}^4 K_{i0}} \right) = \prod_{i=1}^4 (1 + \gamma_i) - 1 \quad (4.30)$$

при  $y_{заг} \ll 1$  можна записати:

$$y_{заг} \approx \sum_{i=1}^n \gamma_i \quad (4.31)$$

Отже похибка розроблюваного вимірювального каналу визначається сумою мультиплікативних похибок відповідних блоків ВК. Згідно виразів (4.12) і (4.16) запишемо



$$\delta_{заг} = \gamma_{заг} = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 \leq 1,1 \quad (4.32)$$

Звичайно даний аналіз проведено з певним наближенням. Тому при розробці вимірювального каналу слід забезпечити певний запас точності. Припишемо мультиплікативним похибкам ланок ВК наступні значення:  $y_1=0,2\%$ ;  $y_2=0,2\%$ ;  $y_3=0,1\%$ ;  $y_4=0,1\%$ . Розробляючи відповідні ланки вимірювального каналу з врахуванням заданих значень похибок зможемо забезпечити запас точності  $\delta_3 = 0,2\%$ , що буде достатнім для виключення впливу випадкових похибок на результат вимірювання.

Даний аналіз не враховує наявності систематичних складових похибки. Але оскільки нам відомі функції впливу систематичних похибок на результат вимірювання, то маємо змогу виключити їхній вплив провівши корекцію результатів вимірювань.

#### 4.12 Корекція результатів вимірювань

Процес аналізу багатокомпонентної газової суміші характеризується високим впливом неінформативних параметрів серед яких температура, тиск, наявність компонентів що «заважають» та інші. Для підвищення експлуатаційних і метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальної системи необхідно враховувати цей вплив і корегувати результати вимірювання. Тому дана газоаналітична ІВС доповнена відповідними каналами для вимірювання значень неінформативних параметрів. Корекція результатів вимірювання виконується обчислювальним пристроєм. Розглянемо детальніше вплив основних дестабілізуючих факторів.

Тиск вносить похибку в зміну через зміну властивостей проби, практично не впливаючи на пристрій, при вимірюванні ГЧ радіації.

В загальному виді компенсацію впливу тиску можна поррахувати по такій формулі [1]

$$C = \left( \left( \frac{P_0}{P} - 1 \right) K_P + 1 \right) C_P \quad (4.33)$$

де  $C$  - скомпенсоване значення концентрації;

$P_0$  - каліброване значення тиску;

$P$  - значення тиску в момент вимірювання;

$K_p$ - розрахований по експериментальним даним коефіцієнт;

$C_p$  — некомпенсоване значення концентрації при тиску  $P$ .

Тиск контролюється безпосередньо в кюветі, щоб врахувати різницю від зміни атмосферного тиску, яке може виникнути за рахунок пневматичного опору лінії скидання газу при великих витратах.

Вагомим впливаючим фактором є температура. Вплив температури визначається залежністю характеристик піроелектричних фотоприймачів, за допомогою яких побудовано оптичні канали газоаналізатора, від температури. Цей вплив характеризується зміною інтегральної вольтової чутливості фотоприймача, що в свою чергу впливає на лінійність вимірювального каналу.

Аналіз метрологічних характеристик аналогічних багатокомпонентних газоаналітичних приладів і систем [11] показує що вплив зміни температури піроелектричних фотоприймачів найбільш вагомий для вимірювального каналу  $CO_2$ . Для вимірювальних каналів  $CO$  і  $CH_m$  цей вплив не перевищує допустимих значень додаткової похибки. Для зменшення температурної похибки по каналу  $CO_2$  вводиться поправка  $y(T_m)$  по концентрації 17,6 % у вигляді

$$y = y^* (a \cdot T_m + b) \quad (4.34)$$

де  $y$  - скорегований сигнал вимірювального каналу;

$y^*$  - не скорегований сигнал;

$T_m$  - температура піроприймача;

$a$  і  $b$  - коефіцієнти.

Вибірковість оптико-абсорбційного методу в основному визначається характеристиками інтерференційних фільтрів, які виділяють вузькі області спектру поглинання кожного з аналізованих компонентів газової суміші. Незважаючи на те, що для кожного компоненту аналізу виділяється вузька область спектру поглинання при багатокомпонентному аналізі спостерігається

взаємний вплив компонентів. Перехресний вплив  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  і  $\text{CH}_4$  незначний і не потребує введення поправки в результат вимірювання.

При подачі 18,7 %  $\text{CO}_2$  виникає абсолютна похибка по каналу вимірювання  $\text{CO}$  рівна 2,5 %. Відповідно для зменшення похибки необхідно внести поправку в обчислення концентрації по каналу вимірювання  $\text{CO}$ :

$$C_{\text{КСO}} = \frac{C_{\text{CO}} - 2,5}{(18,7 \cdot C_{\text{CO}_2})} \quad (4.35)$$

де  $C_{\text{КСO}}$  - скореговане значення концентрації  $\text{CO}$ ;

$C_{\text{CO}}$  - не скореговане виміряне значення концентрації  $\text{CO}$ ;

$C_{\text{CO}_2}$  - результат вимірювання концентрації  $\text{CO}_2$ .

У відповідності з вище приведеним аналізом при побудові багатокомпонентної газоаналітичної ІВС канали вимірювання концентрації  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  необхідно доповнити каналами для вимірювання тиску в робочій кюветі і температури фотоприймача. Для корекції результатів вимірювань концентрацій відповідних компонентів необхідно доповнити алгоритм обчислень концентрацій виразами (4.33), (4.34) і (4.35).

#### 4.13 Функціональна схема побудови багатоканального ( $\text{CO}$ , $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ ) інфрачервоного газоаналізатора

Як вже зазначалось, структура вимірювальних каналів  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  однакова. Тому в даному розділі буде розглянуто вимірювальний канал  $\text{CO}_2$ , (відмінності між каналами буде розглянуто при аналізі відповідних функціональних пристроїв).

##### 4.13.1 Вимірювальний канал $\text{CO}_2$

Вимірювальний канал  $\text{CO}_2$  являє собою послідовне з'єднання наступних пристроїв: первинний перетворювач, пристрій обробки вимірювальної інформації, аналого-цифровий перетворювач.

##### 4.13.1.1 Первинний вимірювальний перетворювач

Інформація про концентрацію вимірюваних компонентів ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ )

надходить з первинного перетворювача у вигляді двох імпульсних електричних сигналів: вимірювального і порівняльного сигналів.

Забезпечення синхронізації первинного перетворювача з пристроєм обробки інформації відбувається за допомогою чотирьох оптопар (три для вимірювальних сигналів і одна для спільного порівняльного сигналу), що утворені інфрачервоним світлодіодом та одним з чотирьох фотодіодів. Відповідний фотодіод освітлюється, і це викликає появу синхросигнала на виході датчика положення відповідного каналу.

Останнім часом у ПЧ-аналізаторах найчастіше використовуються піроелектричні приймачі ПЧ випромінювання. Їх перевагами є: велика швидкодія при високій пороговій чутливості; велике значення коефіцієнту перетворення; великий динамічний діапазон.

У нашому випадку використано приймач оптичного випромінювання піроелектричний типу МГ-30, який призначається для реєстрації та вимірювання модульованого інфрачервоного випромінювання в діапазоні  $\lambda$  (2...20) мкм.

Основні технічні дані:

1. напруга живлення  $12 \text{ В} \pm 10 \%$ ;
2. температура абсолютно чорного тіла  $(573 \pm 2) \text{ К}$ ;
3. температура зовнішнього середовища  $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{С}$ ;
4. опір навантаження  $10 \text{ кОм} \pm 1 \%$ ;
5. полярність вихідної напруги при імпульсному опроміненні

позитивна.

#### 4.13.1.2 Пристрій обробки інформації

Сигнал на виході приймача ПЧ-випромінювання являє собою послідовність електричних імпульсів, форма яких наближається до прямокутної, з малою амплітудою (100...400 мкВ) і частотою слідування  $f=75 \text{ Гц}$ .

Тому необхідно забезпечити надійне детектування і підсилення вхідного сигналу з великим значенням коефіцієнта підсилення.

Оскільки для подальшої обробки важливо зберегти полярність вхідної

напруги, слід було б застосувати схему неінвертуючого підсилювача на операційному підсилювачі (ОП). Але як відомо особливістю такої схеми є те що в такому режимі ОП працює з синфазними сигналами, що визиває додаткову похибку коефіцієнта передачі. Оскільки при побудові вимірювального каналу слід забезпечити мале значення мультиплікативних складових похибок ланок то доцільніше в даному випадку застосувати схему неінвертуючого підсилювача яка являє собою послідовне включення двох інвертуючих підсилювачів (рисунок 4.12).

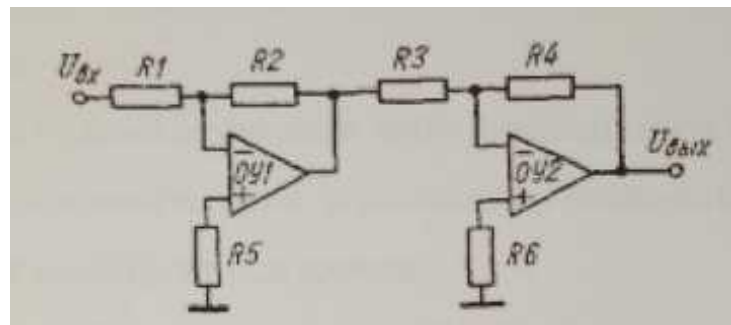


Рисунок 4.12 – Схема неінвертуючого підсилювача, яка являє собою послідовне включення двох інвертуючих підсилювачів

Основною перевагою даної схеми є робота ОП без синфазних сигналів. Функція перетворення такої схеми має вигляд

$$U_{вих} = K_1 \cdot K_2 \cdot U_{вх} \pm \sqrt{|K_2 \cdot U_{0вих1}|^2 + |U_{0вих2}|^2} \quad (4.36)$$

де:  $K_1$   $K_2$  - коефіцієнти передачі 1-го і 2-го інвертуючого підсилювача відповідно;

$U_{0вих1}$ ,  $U_{0вих2}$  - напруга зміщення відповідного операційного підсилювача.

Якщо коефіцієнти передачі підсилювачів рівні, тоді смуга пропускання схеми на рисунку 4.11 розраховується за наступною формулою:

$$f_{0,7} = f'_{0,7} \cdot (1 + K_y) \cdot (1 + \sqrt{K}) \quad (4.37)$$

де  $f'_{0,7}$  - смуга пропускання операційних підсилювачів без ВЗЗ.

Враховуючи висновки отримані під час структурного аналізу вимірювального каналу можемо не враховувати в формулі (4.36) підкореневий вираз. Отже коефіцієнт передачі схеми на рисунку 4.12 будемо вважати рівним  $K=K_1 \cdot K_2=100$ . Оскільки при рівності  $K_1$  і  $K_2$  спрощується, аналіз смуги пропускання схеми виберемо  $K_1=K_2=10$ . Такий вибір коефіцієнтів передачі має і

інші переваги. При реалізації принципової схеми не буде великого розкиду номіналів необхідних резисторів і схема буде знаходитись в одному температурному полі. Тому зміна параметрів елементів схеми і дрейф нуля операційних підсилювачів будуть відносно малими і схема володітиме високою стабільністю у часі, що є однією з основних вимог яка висувається до ланок вимірювального каналу. Оскільки підсилувати необхідно тільки змінну складову сигналу, схему на рисунку 4.12 необхідно доповнити роздільним конденсатором на вході схеми.

Критерії за яким будемо проводити вибір операційного підсилювача для побудови вхідного підсилювача буде стабільність, наявність широкої смуги пропускання і високий коефіцієнт підсилення.

В якості такого ОП вибрано операційний підсилювач фірми Analog Devices OP-37. Дана мікросхема прецензійний ОП. Характеристики OP-37 поєднують низьку напругу зміщення та дрейф нуля з високою швидкістю та малими шумами. Напруга зміщення до 0,25 мкВ та дрейф 0,6 мкВ<sup>°C</sup> роблять OP-37 ідеальним для використання в точних вимірювальних системах. Малий шум на частоті 10 Гц ( $e_{ш}=3,5$  нВ/Гц) та великий коефіцієнт підсилення ( $K_u=1,8*10$ ) дозволяють реалізовувати підсилення сигналів низького рівня з високою точністю. Добуток коефіцієнта підсилення та малосигнальної смуги 63МГц і швидкість наростання вихідного сигналу 17 В/мкс забезпечують відмінну динамічну точність.

На виході детектора (рисунок 4.12) маємо підсилений вхідний сигнал. Через те, що вимірювальна інформація зосереджена в різниці висот імпульсів, то природнім було б здійснювати вимірювання амплітудного значення напруги. Але наявність високого рівня шумів та перешкод у вхідному сигналі при цьому внесе значну похибку через те, що амплітудне значення буде відображати максимальну амплітуду викидів. Тому, враховуючи форму імпульсів, необхідно виконати перетворення амплітудного значення в середнє квадратичне значення (СКЗ).

З цією метою використано схему лінійного перетворювача СКЗ представлену на рисунку 4.13.

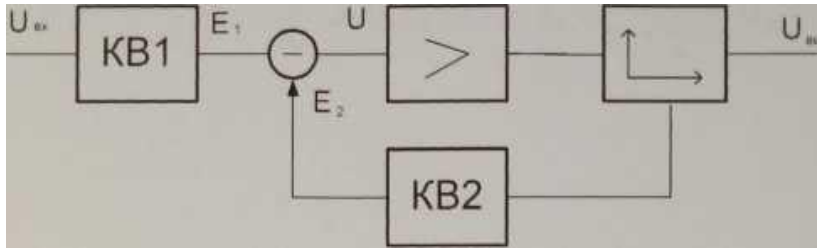


Рисунок 4.13 - Лінійний перетворювач СКЗ

В даній схемі використовується взаємнообернене включення квадраторів. Вихідна напруга такого перетворювача визначається виразом

$$U_{вих} = (K_1 U_{вх}^2 - K_2 U_{вих}^2) \cdot K_{\Pi} \quad (4.38)$$

де:  $K_1, K_2$  - коефіцієнти передачі квадраторів;

$K_{\Pi}$  - коефіцієнт передачі підсилювача.

Необхідно врахувати, що підсилювач має дрейф нуля і це вносить похибку. Припустимо  $K_y \rightarrow \infty$ . Тоді можна записати

$$K_1 U_{вх}^2 + U_{др} - K_2 U_{вих}^2 = \frac{U_{др}}{K_y} \quad (4.39)$$

Звідси знайдемо  $U_{вих}$

$$U_{вих} = \sqrt{\frac{K_1 U_{вх}^2}{K_2} + \frac{U_{др}}{K_2}} \quad (4.40)$$

Коефіцієнт передачі квадраторів можна записати у вигляді

$$K_1 = K_0 (1 + \gamma_1) \quad (4.41)$$

$$K_2 = K_0 (1 + \gamma_2) \quad (4.42)$$

де:  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  - мультиплікативні похибки квадраторів. Тоді

$$U_{вих} = \sqrt{\frac{(1 + \gamma_1) U_{вх}^2}{(1 + \gamma_2)} + \frac{U_{др}}{K_0}} \approx U_{вх} \sqrt{1 + \gamma_1 - \gamma_2 + \frac{U_{др}}{K_0 U_{вх}^2}} \approx U_{вх} \quad (4.43)$$

$$\gamma = \frac{1}{2} (\gamma_1 - \gamma_2) \quad (4.44)$$

$$\delta \approx \frac{U_{др}}{2K_0 U_{вх}^2} \quad (4.45)$$

З вище наведених виразів можна зробити висновок, що мультиплікативна похибка, в основному, залежить від неідентичності квадраторів. По цій причині

необхідно застосувати квадратори виготовлені в одному корпусі, щоб максимально зблизити їх характеристики. Адитивна похибка залежить від рівня дрейфу нуля підсилювача. Слід зазначити, що в даній схемі сигнал E2 фазочутливий, і для того, щоб не виникав позитивний зворотній зв'язок застосовують обмежувачі. Оскільки в якості обмежувача будемо використовувати біполярний n-p-n транзистор, то для того щоб схема була низькоомною, при реалізації електричної принципової схеми перед входом другого квадратора необхідно включити повторювач напруги. Для цього використаємо операційний підсилювач LF411. Дана мікросхема являється прецензійним операційним підсилювачем, особливістю якого є малий струм зсуву (0,1 нА), що дозволяє застосовувати мікросхему в якості стабільного повторювана напруги. В якості квадраторів використовуємо польові транзистори серії SN3955 з похибкою квадратичності не більше 0,1%.

Згідно вибраного алгоритму аналізу необхідно виділити різницю імпульсів двох рівнів. Послідовність імпульсів, які надходять в вимірювальний канал є періодичною. Періодичність імпульсів визначається частотою модуляції оптичних сигналів в газоаналізаторі. В нашому випадку частота модуляції рівна  $f=75$  Гц. Отже тривалість періоду імпульсів буде рівною  $T=1/f=0,013$  (с). Для виділення різниці двох імпульсів спочатку необхідно запам'ятати амплітуду кожного імпульсу. З цією метою застосовано два пристрої вибірки і зберігання (рисунок 4.14). В якості пристрою вибірки і зберігання використано мікросхему SMP04.

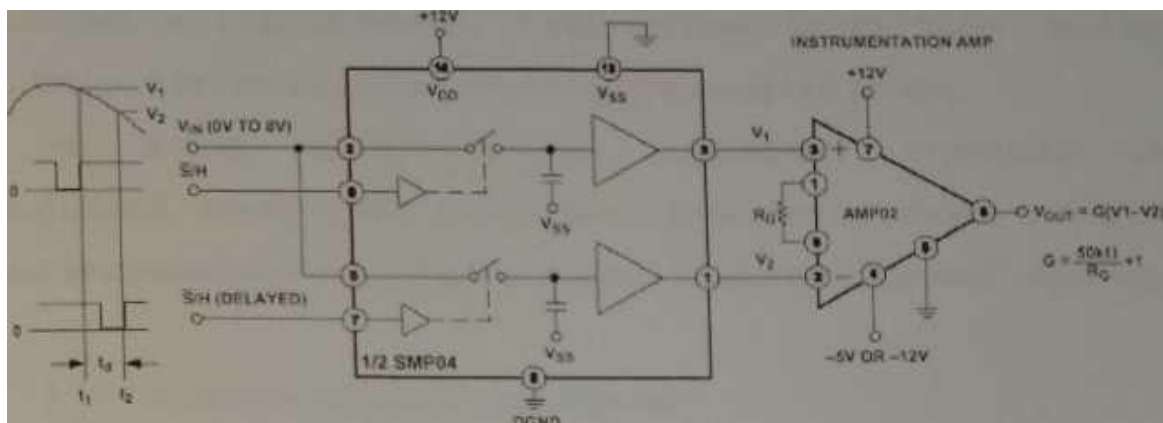


Рисунок 4.14 - Функціональна схема пристрою виділення різниці



SMP04 — монолітна схема вибірки-зберігання, вона має чотири точних внутрішніх буферних підсилювачі й внутрішні конденсатори захоплення. Мікросхема виготовлена по ADI окисдно-ізолюваній технології КМОП, чим забезпечується висока точність, низький рівень спаду й малий час захоплення, задане системами обробки сигналів і збору інформації. SMP04 може працювати від одного або подвійного джерела живлення із сумісністю з логікою TTL/ CMOS. Швидкість спаду зафіксованого сигналу для даної мікросхеми становить 25 мВ/с. Отже для часу зберігання 13 мс отримаємо

$$\Delta U = t_3 \cdot \Delta V / \Delta t = 0,013 \cdot 25 = 0,325 \text{ мВ} \quad (4.46)$$

Оскільки пристрої вибірки-зберігання виготовлені в одному корпусі то можна вважати спад зафіксованого сигналу однаковим для всіх каналів. При подальшій обробці сигналу виконується операція віднімання, тому неідеальність ПВЗ в плані стабільності зафіксованого значення сигналу не шкідитиме похибку в процес вимірювання.

Виходи мікросхеми SMP04 підключають до диференціальних входів підсилювача (рисунок 4.14). Сигнал на виході підсилювача являтиме собою різницю значень сигналу записаного в момент часу  $t_1$  і  $t_2$ . Часовим розподілом каналів керують аналогові ключі. Управління ключами здійснюється сигналами синхронізації що надходять з сенсорів положення схеми модуляції оптичних каналів газоаналізатора. Сенсорами положення являються оптронні пари, які встановлені в газоаналізаторі. Таким чином маємо змогу виділити з послідовності імпульсів порівняльний і вимірювальний сигнал.

На виході диференціального підсилювача отримуємо сигнал пропорційний концентрації відповідного компонента газової суміші. Далі сигнал вимірювальної інформації надходить в аналого-цифровий перетворювач.

#### 4.13.1.3 Аналого-цифровий перетворювач

Інформативний сигнал, пропорційний концентрації аналізованого компонента, являє собою напругу постійного струму відповідного рівня. Для подальшого визначення концентрації необхідно провести обчислення згідно виразів (4.18) і (4.19). Для цього необхідно виконати аналого-цифрове

перетворення інформативного сигналу. Згідно вибраної структури побудови системи необхідно застосувати 4 АЦП. Але сучасна елементна база дозволяє застосувати багатоканальний АЦП із вбудованим мультиплексором. Застосування такого типу АЦП дозволить зменшити апаратні витрати для побудови системи. Зокрема, застосування багатоканального АЦП дозволить значно спростити процес спряження із мікроконтролером. Крім того це дає можливість збільшити кількість вимірювальних каналів, що дозволить розширити функціональні можливості системи.

Основними вимогами які пред'являються до АЦП є висока швидкодія і точність перетворення. Згідно ТЗ система повинна працювати в безперевному режимі. Тому АЦП повинен забезпечувати прийом і обробку інформації на ПБіязі досить малого проміжку часу.

В якості АЦП вибрано мікросхему фірми Analog Devices A07891AP-2 (рисунок 4.15). Даний пристрій являє собою 8-ми канальний 12 розрядний швидкодіючий АЦП, джерело опорної напруги і підсилювач вибірки зберігання в одному корпусі. Час перетворення для даної мікросхеми  $t_n = 1,6$  мкс. Оскільки передбачається використовувати 4 канали то сумарний час перетворення АЦП складатиме  $T_{АЦП} = 4t_n = 4 \cdot 1,6 = 6,4$  мкс.

Отже час необхідний АЦП для обробки 4-х каналів рівний 6,4 мкс і це становить  $T\% = T_{АЦП} / T_c \times 100\% = 6,4 \times 10^{-6} / 0,013 \times 100\% = 0,05\%$  від періоду сигналу, що більш ніж достатньо, оскільки необхідно забезпечити певний запас часу для проведення подальших обчислень.

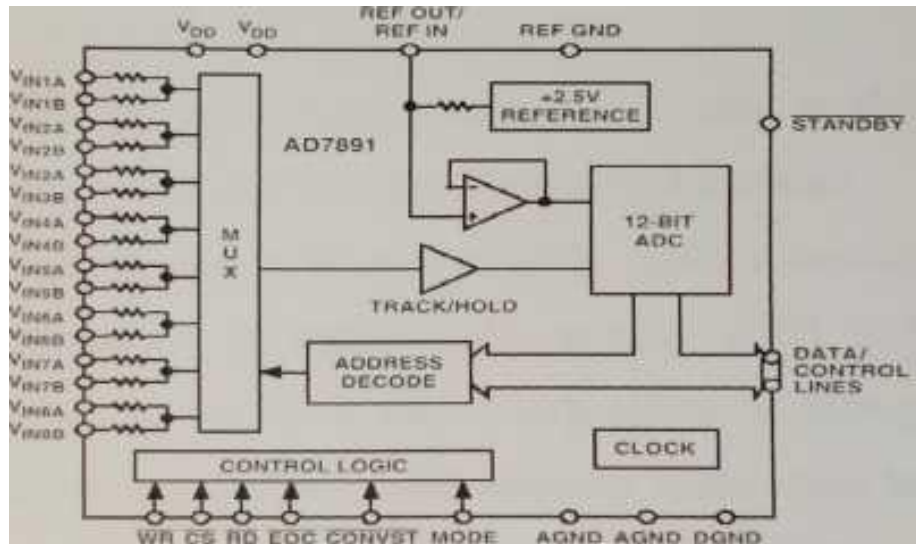


Рисунок 4.15 - Функціональна схема АЛ7891АР-2

Як зазначалось дана мікросхема має вбудоване джерело опорної напруги, для його використання необхідно вивід REF IN підключити до виводу AGND. Крім того AD 7891 має управляючий регістр, який містить 6 бітів інформації.

Дані із АЦП передаються в мікроконтролер по лінії DOUT. Для прийому даних для керуючого регістра служить лінія DATA IN. Для синхронізації роботи АЦП і мікроконтролера необхідно на вхід SCLK подавати імпульси синхронізації. Для мінімізації числа комутуючих ліній AD7891 необхідно підключити виводи АЦП RFS і TFS разом. Це дозволить проводити запис і зчитування даних з АЦП одночасно. Часові діаграми роботи наведені на рисунку 4.16.

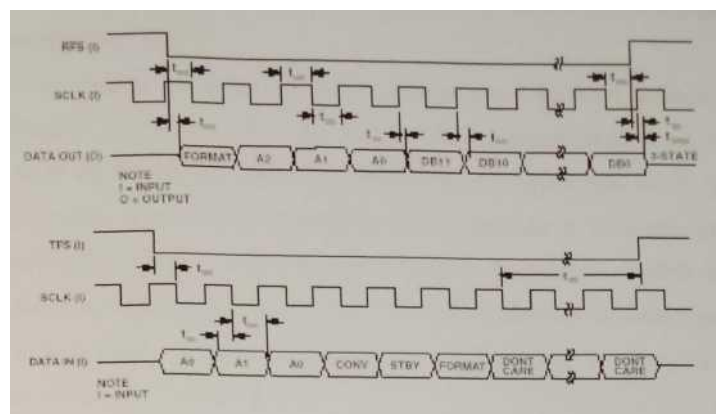


Рисунок 3.16 - Часові діаграми роботи AD7891

Оскільки АЦП являється 8-ми канальним, а нам необхідно 4, то є можливість розширення функціональних можливостей системи.

Отже дані передаються в мікроконтролер (МК) в послідовному коді.

Застосування послідовного інтерфейсу для зв'язку АЦП з МК дозволяє максимально спростити схему. Крім того є можливість задіяти невикористані виводи мікропроцесора для прийому інформації від додаткових вимірювальних каналів. AD7891 є сумісним з більшістю процесорів сімейства МК51 і не потребує додаткових елементів для спряження.

#### 4.13.1.4 Мікропроцесор

На даний пристрій покладаються наступні функції:

1. прийом сигналів вимірювальної інформації;
2. прийом стробуючого сигналу з оптопари;
3. прийом сигналу від сенсора температури;
4. прийом сигналу від сенсора тиску;
5. обчислення концентрацій аналізованих компонентів з корекцією по температурі і тиску;
6. передача інформації про концентрації аналізованих компонентів на ПЕОМ по інтерфейсу RS232.

Проблема вибору типу центрального процесора є однією з найважливіших при проектуванні. Приміром, на етапі налагодження програмного забезпечення необхідно, щоб процесор не тільки виконував всі перераховані вище завдання, але й забезпечував досить швидко модернізацію програми. Основна вимога до центрального процесора - забезпечення заданої швидкодії. Тобто протягом одного періоду вимірювального сигналу (13 мс) процесор повинен встигнути обробити інформацію, внести корекцію по температурі й тиску й вивести результат на шину інтерфейсу RS232.

Виходячи із усього цього, для проектування контролера був обраний процесор DS5000T фірми Dallas Semiconductor (США) (рисунок 4.17). Процесор повністю сумісний із серією 8051 (МК51 в вітчизняній інтерпретації), має достатню швидкодію для вирішення завдання, його тактова частота становить 16 МГц. Обсяг його оперативної пам'яті становить 32 кБайт, що дозволяє не обмежувати можливостей розроблювальної програми нестачею пам'яті. Мікропроцесор має вбудований контролер послідовного порту, що особливо важливо при налагодженні програми, коли часто доводиться вносити в неї

необхідні коректування. Ця особливість дозволяє виключити використання програматора, а замість цього підключати мікроконтролер прямо до послідовного порту будь-якого комп'ютера й виконувати прошивання програми з його допомогою.

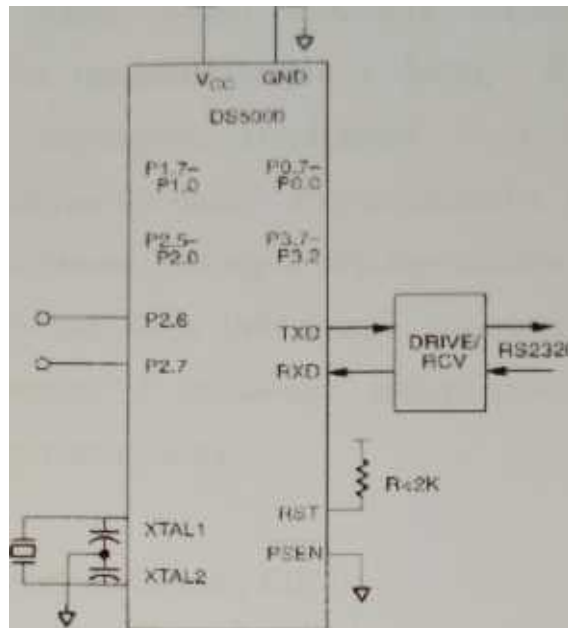


Рисунок 4.17 - Включення DS5000T в режимі послідовного завантаження

Таким чином процесор працюватиме в режимі послідовного завантаження. Такий режим роботи характеризується простотою, високою швидкістю і надійністю. При роботі процесора з тактовою частотою 12 МГц швидкість передачі по послідовному інтерфейсу може бути від 9600 до 57600 біт.

Обмін інформацією з контролером здійснюється з ініціативи пульта керування.

Програма, призначена для керування роботою мікропроцесора, написана мовою низького рівня - Ассемблер, що дозволяє ефективно підвищити швидкість виконання необхідних функцій, у порівнянні з виконанням програми, перетвореної в машинні коди з мов високого рівня. Для програмування пам'яті для програм використовується послідовний периферійний інтерфейс, що для цього підключається до трьох ліній порту LPT1 комп'ютера. Комп'ютерна програма програмування мікропроцесора розроблена мовою високого рівня.

Програма складається з двох основних модулів:

1. модуля прийому інформації від газоаналізаторів,
2. модуля обміну інформацією з пультом керування.

Після включення електричного живлення мікропроцесор постійно приймає інформацію від газоаналізаторів і формує блок інформації для передачі його пульту керування. Послідовні коди від газоаналізаторів надходять на лінії введення висновку мікропроцесора і перетворюються в рівнобіжні коди з використанням таймерів мікропроцесора.

Після цього формується блок інформації, що включає інформацію про стан каналів, вимірювальну і службову інформацію газоаналізаторів, контрольну суму й ознаку кінця блоку.

#### 4.14 Структурна схема комплексу

Комплекс може обслуговувати чотири котлоагрегати і передавати всю інформацію про проходження процесу горіння на пульт керування, розташований у диспетчерській. На рисунку 4.18 представлена в у загальному виді структурна схема комплексу. Весь комплекс складається з чотирьох однакових незалежних підкомплексів, по одному на кожен котлоагрегат, і пульта керування. Інформація від підкомплексів передається на пульт керування по двопровідній лінії зв'язку в послідовному коді.



Рисунок 4.18 - Структурна схема комплексу ЕІК-01

Кожен підкомплекс робить вимірювання у газоході на виході котла змісту окису і двоокису вуглецю ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), сумарного вуглеводню ( $\text{HC}$ ) і кисню ( $\text{O}_2$ ). На рисунку 4.19 показаний основний структурний склад кожного підкомплексу, що містить у собі газоаналізатори 325ФА1 ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}$ ), 15ЭХ02Е ( $\text{O}_2$ ), і контролер.

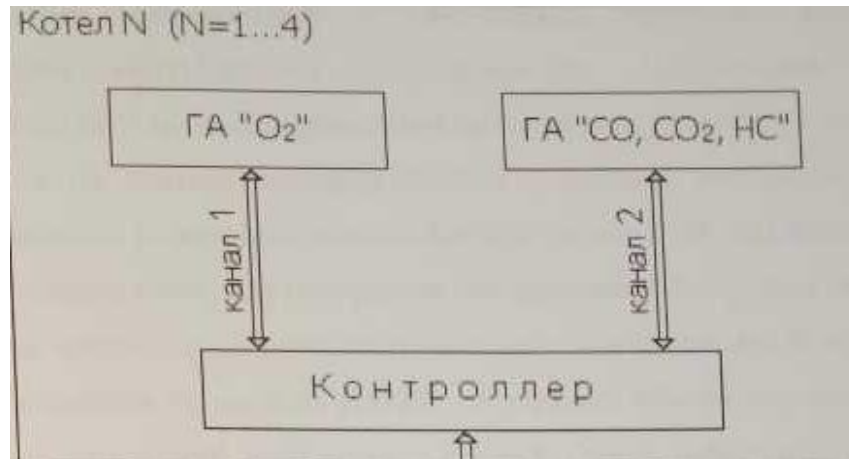


Рисунок 4.19 - Структурна схема підкомплексу

#### 4.15 Обробка результатів вимірювання

Кожен газоаналізатор є самостійним приладом, що працює під керуванням внутрішнього мікропроцесора. Одержувана вимірювальна інформація не тільки відображається на цифровому табло газоаналізатора, але і видається на вихідні контакти RS-232 у вигляді послідовного коду. Крім вимірювальної інформації газоаналізатори по шині RS-232 видають і службову інформацію: діагностику несправностей, режими роботи, стан газоаналізатора. На контролер підкомплексу покладається задача прийому інформації від газоаналізаторів по каналах RS-232 і підтримка обміну інформацією з пультом керування по довгій лінії зв'язку RS-485. Обмін інформацією з контролером здійснюється з ініціативи пульта керування. Кожен контролер має свій номер, що зберігається в пам'яті для програм, і кожен блок інформації, переданий по лінії зв'язку, починається номером контролера, якому чи з якого передається інформація. Швидкість передачі інформації з каналів RS-232 складає 9600 байт/с, а по лінії зв'язку RS-485 - 2400 байт/с. Структурна схема контролера представлена на рисунку 4.20.

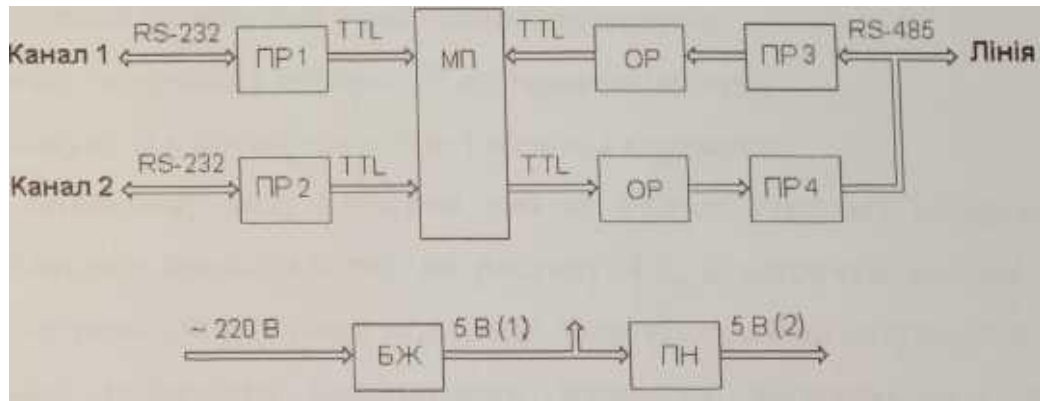


Рисунок 4.1 — Структурна схема контролера.

МП – мікропроцесор; ПР- перетворювач рівнів; ОР - оптронна розв'язка, БЖ - блок електричного живлення, ПН - перетворювач напруги.

Мікропроцесор (МП) побудований на мікросхемі AT8988252, що має вмонтовані:

- 8К байт 8-розрядної пам'яті для програм;
- три 16-розрядних таймери-лічильники;
- 256 байт 8-розрядної пам'яті для даних;
- 32 лінії вводу-виводу; програмний сторожовий таймер;
- повний-дуплексний послідовний порт вводу-виводу;
- генератор тактових імпульсів; послідовний периферійний інтерфейс;
- шести векторну систему переривань із двома пріоритетними рівнями.

Програма, призначена для керування роботою мікропроцесора, написана мовою низького рівня Ассемблер, що дозволяє ефективно підвищити швидкодію виконання необхідних функцій, у порівнянні з виконанням програми, перетвореної в машинні коди з мов високого рівня. Для програмування пам'яті для програм використовується послідовний периферійний інтерфейс, що для цього підключається до трьох ліній порту LPT1 комп'ютера. Комп'ютерна програма програмування мікропроцесора розроблена мовою високого рівня.

Програма складається з двох основних модулів:

- модуля прийому інформації від газоаналізаторів,
- модуля обміну інформацією з пультом керування.



У загальному виді алгоритм роботи модуля прийому інформації від газоаналізаторів представлений на рисунку 4.21, а алгоритм роботи модуля обміну інформацією з пультом керування представлений на рисунку 4.22.

Після включення електричного живлення мікропроцесор постійно приймає інформацію від газоаналізаторів і формує блок інформації для передачі його пульту керування. Послідовні коди від газоаналізаторів надходять на лінії введення-висновку мікропроцесора і перетворюються в рпробіжні коди з використанням таймерів мікропроцесора.

Після цього формується блок інформації, що включає номер контролера (казана), стан каналів, вимірювальну і службову інформацію газоаналізаторів, контрольну суму й ознаку кінця блоку.

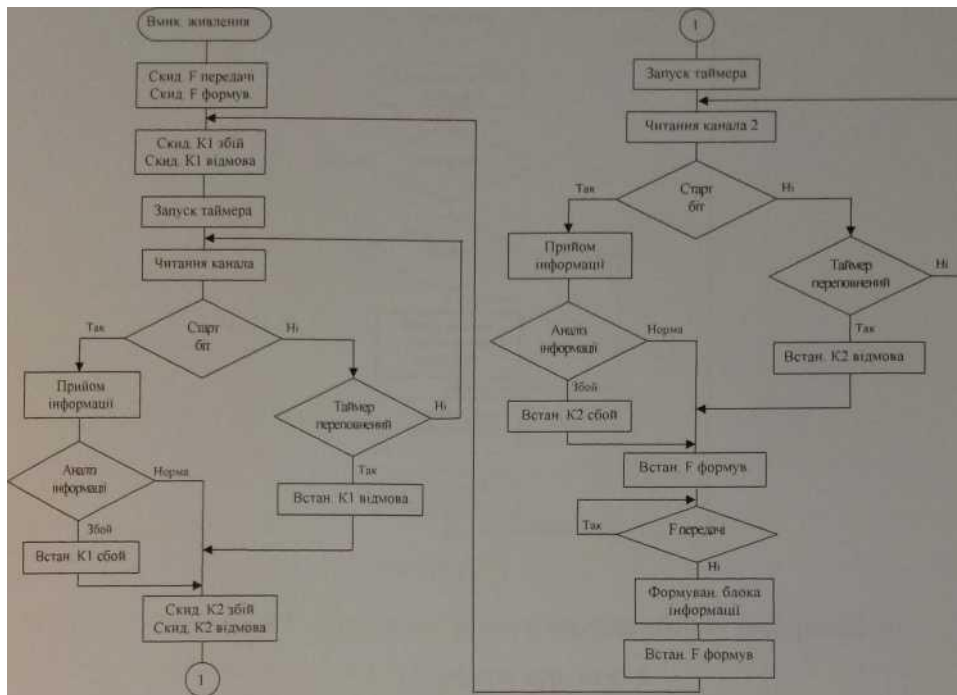


Рисунок 4.2 - Алгоритм роботи модуля прийому інформації від газоаналізаторів.

У лінію зв'язку інформація передається тільки по запиті від пульта керування через послідовний порт мікропроцесора. При прийомі інформації від газоаналізаторів аналізується стан каналу і вірогідність інформації. При цьому встановлюються прапорці K1-відмовлення, K1-збій, K2-відмовлення, K2-збій, що включаються в блок інформації для пульта керування.

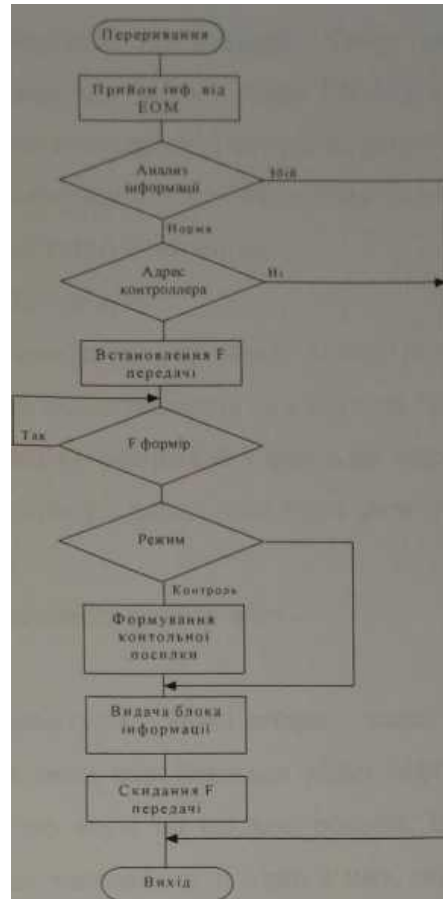


Рисунок 4.22 — Алгоритм роботи модуля обміну інформацією з пультом керування

До буфера формування блоку інформації мають доступ два програмних модулі, і для синхронізації доступу введені два прапорці синхронізації доступу  $F_{\text{форм}}$  і  $F_{\text{передачі}}$ . Перший прапорець говорить про те, що дані в буфері знаходяться в процесі формування, а другий - що йде передача і дані в буфері змінювати не можна.

Блок інформації, прийнятої від пульта керування, крім номера контролера (котла) містить також інструкцію, що визначає тип переданої інформації. Так передбачена видача спеціально сформованого блоку контрольної інформації для перевірки працездатності лінії зв'язку і контролера.

Сучасні мови високого рівня дозволяють розробляти програмне забезпечення з використанням високо якісної графіки і відображення інформації на екрані монітора в кольорі. Тому як пульт керування використовується комп'ютер, що містить порт RS-485 і спеціальну програму, що є невід'ємною частиною комплексу. Програма, розроблена для комп'ютера, призначена для прийому інформації від газоаналізаторів комплексу і її обробки.

Програма виконує наступні основні дії:

1. обслуговування лінії зв'язку;
2. вивід на екран монітора поточних даних результатів вимірювання концентрацій газів, а також представлення їх у вигляді графіків чи таблиць;
3. збереження (архівація) інформації у файлі на жорсткому диску;
4. вивід на екран монітора даних, що були раніше запаковані в архів, у вигляді графіків, таблиць;
5. перевірку працездатності лінії зв'язку.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ВДОСКОНАЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ КОТЕЛЕНЬ»

### 5.1. Опис ідеї стартап проекту

Ідеєю для стартап-проекту є описана в магістерській дисертації інструментально-методичне забезпечення контролю викидів котелень. Актуальність такої пов'язана з тим, що в сучасних умовах антропогенна діяльність призвела до того, що забруднення навколишнього середовища досягло критичних рівнів. Особливо небезпечним стало аерогенне навантаження, що включає майже 500 тисяч токсичних хімічних речовин, з яких відомими є лише 5-10% і які викликають захворювання основних функціональних систем організму. Основними забрудниками повітря є теплові електростанції та теплові котельні.

Опис ідеї стартап-проекту наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї  | Напрямки застосування  | Вигоди для користувача  |
|---|--|---|
| Розробка інструментально-методичного забезпечення контролю викидів котелень | Застосування при проведенні екологічного моніторингу, а саме проводити контроль параметрів повітря | Інструментально-методичне забезпечення просте у користуванні                              |
|   |  | Швидкість виявлення більша за попередні варіанти інструментально-методичного забезпечення |

Серед конкурентів для даної аналізатору, в Україні існує лише декілька аналізаторів, але їх недоліком є складне інструментально-методичне забезпечення та швидкість проведення аналізу є низька. Існує потреба в якісному та швидкому інструментальному забезпеченню.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| №п/п | Техніко-економічні характеристики ідеї | (потенційні) товари/концепції конкурентів |                    | W (слабка сторона) | N (нейтральна сторона) | S (сильна сторона) |
|------|--|---|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
|      |  | Мій проект                                | ФОП «Екологія»     |                    |                        |                    |
| 1.   | Ергономічність                         | Покращений функціонал                     | Слабкий функціонал |                    | +                      |                    |
| 2.   | Вартість та підтримка                  | 36000                                     | 50000              |                    |                        | +                  |
| 3.   | Надійність                             | 5 років                                   | 6 років            |                    |                        | +                  |
| 4.   | Транспортувальність                    | Не потребує                               | Не потребує        |                    | +                      |                    |

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

### 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу буде проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл.5.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п | Ідея проекту  | Технології її реалізації   | Наявність технологій | Доступність технологій |
|-------|---|--|----------------------|------------------------|
| 1     | Розробка інструментального забезпечення контролю викидів котелень | Використання аналізу повітря при екологічному моніторингу на вміст газів CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> | Наявні               | Доступні               |

|  |   |  |        |          |
|--|---|--|--------|----------|
| 2  | Розробка методичного забезпечення контролю викидів котелень                 | Використання аналізу повітря при екологічному моніторингу на вміст газів CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> | Наявні | Доступні |
| 3  | Розробка інструментально-методичного забезпечення контролю викидів котелень | Використання аналізу повітря при екологічному моніторингу на вміст газів CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> | Наявні | Доступні |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: розробка інструментально-методичного забезпечення контролю викидів котелень |   |  |        |          |

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту розробка інструментально-методичного забезпечення контролю викидів котелень

### 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміку розвитку ринку (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування)                     | Характеристика   |
|-------|--|--|
| 1     | Кількість головних гравців, од                           | 2  |
| 2     | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од                        | 45000  |
| 3     | Динаміка ринку (якісна оцінка)                           | Зростає  |
| 4     | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Обмежень не виявлено   |
| 5     | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації      | ГОСТ 17.2.1.04-77 Охорона природи. Атмосфера. Джерела і метеорологічні чинники забруднення, промислові викиди. терміни та визначення ГОСТ 17.2.3.01-86 Охорона природи. Атмосфера. населених пунктів |

|   |   |    |
|---|---|----|
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), % | 40 |
|---|---|----|

В даній таблиці визначено середню норму рентабельності в галузі, він складає 45%. Також вказані специфічні вимоги та стандарти для технології. Отже, є сенс інвестувати в цей проект гроші.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 3.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| № п/п | Потреба, що формує ринок      | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)  | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів   | Вимоги споживачів до товару                     |
|-------|-------------------------------|---|---|---|
|       | Виявлення викидів в атмосферу | Цільова група, яка займається екологічним моніторингом повітря, уряд України (фінансування) | ГОСТ 17.2.1.04-77<br>Охорона природи. Атмосфера. Джерела і метеорологічні чинники забруднення, промислові викиди. терміни та визначення<br>ГОСТ 17.2.3.01-86<br>Охорона природи. Атмосфера. Правила контролю якості | 1. портативність;<br>2. точність;<br>3. якість. |

Після визначення потенційних груп клієнтів проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл.5.6–5.7).

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

| № п/п | Фактор            | Зміст загрози  | Можлива реакція компанії                          |
|-------|-------------------|--|---|
| 1     | Попит             | Зниження попиту на продукцію (Зниження доходів компанії, та загроза розорення) | Вдосконалення існуючого продукту, зниження ціни   |
| 2     | Науково-технічний | Припинення удосконалення технології  | Підтоимувати належний іновачійний стан технології |

|    |                           |  |   |
|----|---------------------------|--|---|
| 3. | Інформаційне забезпечення | Використання неякісного забезпечення         | Забезпечення зрозумілої інструкції      |
| 4. | Динаміка галузі           | Спад динаміки                                | Моніторинг необхідної галузі            |
| 5  | Конкуренція               | Вихід на ринок конкурентоспроможних компаній | Підтримувати співвідношення ціна/якість |

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

| № п/п | Фактор                    | Зміст можливості  | Можлива реакція компанії            |
|-------|---------------------------|---|-------------------------------------|
| 1     | Попит                     | Замовлення на проведення контролю   | Підвищення потужності виробництва   |
| 2     | Науково-технічний         | Нарощення потужностей виробництва вдосконаленої системи екологічного моніторингу за рахунок нового інструментально-методичного забезпечення | Підвищення кваліфікації працівників |
|       | Інформаційне забезпечення | Використання сучасного програмного забезпечення   | Підвищення кваліфікації працівників |
|       | Динаміка галузі           | Зростання динаміки в галузі   | Доступна ціна та якість висока      |
|       | Конкуренція               | Залучення нових клієнтів  | Доступна ціна та якість висока      |



Далі проведемо аналіз пропозиції: визначмо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища                  | В чому проявляється дана характеристика  | Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)                                      |
|---|--|---|
| 1. Тип конкуренції<br>- олігополія                    | Олігополія характеризується невеликою кількістю фірм (від 2 до 10), огорожених бар'єрами, які перешкоджають вступу в галузь нових фірм, мають контроль над цінами, але при змові з іншими олігополістами | Головною рисою є те, що кількість фірм така мала відносно розмірів ринку, що кожна фірма визнає тісний зв'язок одна з одною |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби<br>- глобальний    | Вихід на ринок за межами країни виробника  | Збільшення клієнтів та попиту   |
| 3. За галузевою ознакою<br>- внутрішньогалузева       | Товар націлений суто на контроль монтажу муфт на трубопроводі і не підходить для інших цілей   | Звуження конкуренції  |
| 4. Конкуренція за видами товарів:<br>- товарно-видова | Конкуренція між товарами одного виду   | Покращення методу контролю, на який націлена фірма  |
| 5. За характером конкурентних переваг<br>- нецінова   | Прагнення захоплення частини ринку   | Введення іновачій, підвищення якості  |
| 6. За інтенсивністю<br>- не марочна                   | Роль торгової марки  | Не впливає  |

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

|                  | Прямі конкуренти в галузі  | Потенційні конкуренти  | Постачальники   | Клієнти  | Товари-замінники                  |
|------------------|--|--|---|--|-----------------------------------|
| Складові аналізу | Фірми, які націлені на екологічний контроль повітря (ПАТ «УКРАНАЛІТ» ) | Поява нових конкурентів, що націлені на контроль повітря<br><br>ФОП «Екологія» | Постачальники складових одиниць деталей для системи моніторингу<br><br>«Промінвест» | Цільова група, що займається контролем повітря та уряд України | Використання газових аналізаторів |

|          |   |   |  |  |                                    |
|----------|---|---|--|--|------------------------------------|
| Висновки | Конкуренція значна, оскільки фірма є лідером на ринку аналітичного приладобудування у сфері екологічного моніторингу, однак їй також буде цікава розробка | Можливість виходу на ринок в досить незначні строки – 6 місяців<br><br>- на ринку України незначна конкуренція в цій галузі | Постачальники не диктують умов роботи на ринку | Клієнтам необхідний якісний та швидкий продукт | Існують, але мають незначний вплив |
|----------|---|---|--|--|------------------------------------|

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо принципової можливості роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію. Також висновок щодо характеристик (сильних сторін), які повинен мати проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в (табл. 5.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 5.6–5.7) визначено та обґрунтовано перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлено за табл. 5.10

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)   |
|-------|-------------------------------|---|
| 1     | Попит                         | Зниження ціни на технологію та підвищення якості  |
| 2     | Науково-технічний             | Впровадження інновацій  |
| 3     | Інформаційне забезпечення     | Необхідна база даних для моніторингу викидів у повітря  |
| 4     | Динаміка галузі               | Розвиток галузі та виробництва визначає попит на продукцію  |
| 5     | Конкуренція                   | Витрати на розробку більш досконалого інструментально-методичного забезпечення, або оновлення старого |

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.11).

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл.5.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «імпульсного імітатора сонячного випромінювання»

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Бали 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з фірмою |    |    |    |    |    |    |
|-------|-------------------------------|-----------|---|----|----|----|----|----|----|
|       |                               |           | -3  | -2 | -1 | 0  | +1 | +2 | +3 |
| 1     | Попит                         | 15        |   |    |    | ++ | +  |    |    |
| 2     | Науково-технічний             | 10        |   |    | +  | ++ |    |    |    |
| 3     | Інформаційне забезпечення     | 12        |   |    |    | ++ |    |    |    |
| 4     | Динаміка галузі               | 6         |   |    | -- | +  |    |    |    |
| 5     | Конкуренція                   | 10        |   |    |    | ++ |    | +  |    |

Таблиця 5.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

|   |  |
|---|--|
| Сильні сторони: якість і низька вартість  | Слабкі сторони: відсутність відомої марки  |
| Можливості: зробити акцент на низьку ціну та якість продукції, збільшення клієнтів через потенційних клієнтів | Загрози: поява нових конкурентів на українському ринку, загроза втратити найбільших постачальників |

На основі SWOT-аналізу можна визначити альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні

проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 5.9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 5.13).

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| № п/п | Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки | Ймовірність отримання ресурсів  | Строки реалізації |
|-------|--|---|-------------------|
| 1     | Динамічна (освоєння нових ринків різних країн)                 | Збільшення постачальників, удосконалення ресурсів, найм на роботу кваліфікованих спеціалістів | 6 місяців         |
| 2     | Нестійкий  | Результат реклами   | 1 рік             |
| 3     | Стабільний   | Отримання у перевірених постачальників, кваліфікований персонал                               | 6 місяців         |

Під час аналізу було обрано такі альтернативи (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки – динамічна (більш стислі строки реалізації), нестійка (отримання ресурсів є більш простим та ймовірним), стабільний (більш стислі строки реалізації).

#### 5.4. Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.14).

Таблиця 3.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/п  | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів   | Готовність споживачів сприйняти продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту) | Інтенсивність конкуренції в сегменті | Простота входу у сегменті |
|--|--|---|---|--------------------------------------|---------------------------|
| 1  | Цільова група, яка займається моніторингом повітря | Висока                                  | Високий   | Низька                               | Середня                   |
| Які цільові групи обрано: стратегію концентрованого маркетингу |  |   |   |                                      |                           |

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо цільові групи, для пропонується наш товар, та визначаємо стратегію охоплення ринку:

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформуванати базову стратегію розвитку (табл. 5.15).

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

| № п/п | Обрана альтернатива розвитку проекту | Стратегія охоплення ринку   | Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи  | Базова стратегія розвитку* |
|-------|--------------------------------------|---|---|----------------------------|
|       | Стабільна                            | стратегія припускає, що за рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів (портфеля укладених контрактів на постачання) і продуктивності підприємство може добитися менших витрат | фірма здатна протистояти своїм прямим конкурентам навіть у разі цінової війни і в змозі отримувати прибуток при ціні, мінімально допустимій для конкурентів; низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист | Стратегія диференціації    |

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| № п/п | Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?  | Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів? | Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?   | Стратегія конкурентної поведінки* |
|-------|---|--|---|-----------------------------------|
|       | Проект не є першопрохідцем, але не в поширений в нашій країні. Досить широке використання в Європі та Росії | Буде шукати нових та можливо забирати у конкурентів                            | Компанія буде позичати характеристики західних аналогів, адже вони при екологічному моніторингу є однаковими, проте розроблено власне вдосконалення | Стратегія наслідування лідера     |

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 5.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 5.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16) розробляється стратегія позиціонування (табл. 5.17), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

| № п/п | Вимоги до товару цільової аудиторії                            | Базова стратегія розвитку                       | Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту | Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових) |
|-------|--|---|--|--|
|       | Проведення екологічного моніторингу повітря з більшою точністю | Стратегія дотримання співвідношення ціна/якість | Якість контролю буде відповідати західним фірмам             | «європейська якість за нижчими цінами»,  |

Результатом виконання підрозділу є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрями роботи стартап-компанії на ринку.

#### 5.5. Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 5.18 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба  | Вигода, яку пропонує товар  | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)    |
|-------|--|---|---|
| 1     | Проведення якісного моніторингу по території України | Спрощення процесу моніторингу процесу викидів, що підвищує точність вимірювання | Використання нового інструментально-методичного забезпечення викидів з котелень |

Далі розробимо тривірневу маркетингову модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 5.19).

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

| Рівні товару  | Сутність та складові   |          |  |
|---|--|----------|--|
| I. Товар за задумом   | Система контролю екологічного стану території з використанням математичного моделювання  |          |  |
| II. Товар у реальному виконанні   | Властивості/характеристики   | М/Н<br>м | Вр/Тх /Тл/Е/Ор                                     |
|   | 1. Напруга мережі  |          | 220  |
|   | 2. Моніторинг за викидами від  |          | теплового та енергетичного устаткування (ТЕЦ, ТЕС) |
|   |  |          | промислових підприємств                            |
|   |  |          | Хімічної промисловості (при виготовленні добрив)   |
|   |  |          | транспорту   |
|   | Пакування: оскільки у нас представлена технологія вдосконаленого інструментально методичного забезпечення, тому пакування не передбачено |          |  |
| Марка: НАЕПС  |  |          |  |
| III. Товар із підкріпленням   | Інформацію щодо якості продукту споживач може отримати з інформаційних сайтів, реклами та відгуків                                       |          |  |
| За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патентування товару |  |          |  |

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни

| № п/п | Рівень цін на товари-замінники | Рівень цін на товари-аналоги | Рівень доходів цільової групи споживачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|-------|--------------------------------|------------------------------|--|---|
|       | 145 000 грн                    | 170 000 грн                  | середній                                 | 180 000 грн – 220 000 грн                               |

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 5.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту

| № п/п | Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів    | Функції збуту, які має виконувати постачальник товару | Глибина каналу збуту                | Оптимальна система збуту |
|-------|--|---|-------------------------------------|--------------------------|
|       | Ознайомлення з інструкцією по користуванню технологією | Вчасне забезпечення доступу до технології             | Інформаційний канал транспортування | Власні сили              |

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5. 22).

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

| № п/п | Специфіка поведінки цільових клієнтів   | Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти | Ключові позиції, обрані для позиціонування | Завдання рекламного повідомлення                                    | Концепція рекламного звернення        |
|-------|---|--|--|---|---------------------------------------|
|       | Ознайомлення з специфікою технології на сайті, оцінка ефективності технології | Інтернет, телебачення                                  | Якість та ціна                             | Проінформувати цільову аудиторію про технологію, за доступною ціною | Ми пропонуємо якість за низькою ціною |



Результатом є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

#### 5.6. Висновки до розділу

В даній магістерській дисертації розроблено стартап-проект для інструментально-методичне забезпечення контролю викидів котелень. За допомогою комплексу реалізовано цілодобовий безперервний моніторинг як з газовим середовищем в технологічних процесах, так і за екологічними викидами токсичних газів в атмосферу при роботі ТЕС. Впровадження системи дозволять оптимізувати процес горіння, понизити споживання палива, зменшити викиди токсичних газів на питому одиницю палива. Комп'ютерна обробка вимірювальної інформації дозволить запаковувати в архіви результати вимірювання і тим самим відслідковувати відхилення від технологічного процесу за результатами газоаналітичного контролю. Газоаналізатор 325 ФА01 автоматично вимірює концентрацію CO, CO<sub>2</sub>, CH на вихідному газозоді кожного з котлоагрегатів. Інформаційні сигнали з газоаналізатора поступають на електронний блок з цифровим табло, який встановлено всередині шафи, і одночасно передаються на комп'ютер у диспетчерську.

Таким чином комплекс дозволяє в реальному часі вимірювати склад газів фактично в зоні горіння і за результатами вимірювання корегувати співвідношення повітря/паливо для оптимізації процесів горіння і зменшення токсичних викидів в атмосферу.

Під час проведення аналізу було визначено, що є гарна можливість комерціалізації даного проекту на ринку України. цільова група клієнтів досить вузька, але дана технологія націлена на людей, які займаються моніторингом викидів у повітря та уряд країни, оскільки саме він займається фінансуванням екологічних програм.

Було визначено основні загрози та можливості даного стартап-проекту. Було визначено систему збуту, але, оскільки, стартап-проект базується на вдосконаленні технології, то потреби в ній не має.

До сильних сторін відносяться: збільшення доходів потенційних споживачів, низька ціна на технологію, велика кількість високоосвічених працівників, надійність, ергономічність. До слабких сторін відноситься мала кількість постачальників запчастин. Але оскільки ця галузь України поступово поновлюється, тому можна припустити, що в найближчому майбутньому, ця проблема не буде виникати.

## ВИСНОВКИ

За допомогою комплексу реалізовано цілодобовий безперервний моніторинг як з газовим середовищем в технологічних процесах, так і за екологічними викидами токсичних газів в атмосферу при роботі ТЕС. Впровадження системи дозволить оптимізувати процес горіння, понизити споживання палива, зменшити викиди токсичних газів на питому одиницю палива. Комп'ютерна обробка вимірювальної інформації дозволить запаковувати в архіви результати вимірювання і тим самим відслідковувати відхилення від технологічного процесу за результатами газоаналітичного контролю.

Газоаналізатор 325 ФА01 автоматично вимірює концентрацію CO, CO<sub>2</sub>, СН на вихідному газоході кожного з котлоагрегатів. Інформаційні сигнали з газоаналізатора поступають на електронний блок з цифровим табло, який встановлено всередині шафи, і одночасно передаються на комп'ютер у диспетчерську.

Таким чином комплекс дозволяє в реальному часі вимірювати склад газів фактично в зоні горіння і за результатами вимірювання корегувати співвідношення повітря/паливо для оптимізації процесів горіння і зменшення токсичних викидів в атмосферу.

Створення комплексу дозволить вирішити наступні задачі:

а) забезпечити безперервний контроль процесу горіння за результатами газоаналітичного контролю газового середовища комплексом, як безпосередньо в зоні горіння (вимірювання концентрації O<sub>2</sub>), так і на вихідному газоході котла;

б) видати технічному персоналу рекомендації по оптимізації процесу горіння, режимів технологічного обладнання;

в) безперервно контролювати рівні викидів шляхом вимірювання за допомогою комплексу поточних концентрацій токсичних газів на виході кожного газоходу, після електрофільтрів, перед викидом в димову трубу;

- г) відображати поточні результати вимірювання на екрані монітору у вигляді цифрового табло, графіку, таблиці;
- д) запаковувати в архіви, систематизувати результати вимірювання, опрацьовувати їх з метою отримання стандартизованих, уніфікованих результатів вимірювань певний часовий інтервал (день, тиждень, місяць, рік);
- е) проводити технічну діагностику технологічного обладнання за результатами вимірювань комплексу шляхом порівняння результатів вимірювання з режимними картами роботи котлів з метою визначення причин, які викликають зміни рівнів викидів;
- є) вести статистичну звітність за результатами вимірювання комплексу та наступного розрахунку рівня екологічних платежів за отриманими даними звітності.

При незначних доопрацюваннях система, яка складається з комплексу, може бути впроваджена на різноманітних технологічних процесах в енергетиці, металургії, нафтохімії, ТЕЦ, котельних, бойлерних, в технологічних процесах пов'язаних з горінням різного палива. Підвищується к.к.д. котла різної потужності, знижується вартість комплексних еколого-технологічних та ремонтно-налашувальних робіт, гарантується максимальне енерго- та ресурсозбереження, зменшуються шкідливі викиди в атмосферу, досягається економія палив на рівні 6 — 8 %.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Г. Б. Варламов, Г. М. Любчик, В. А. Маляренко Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: Підручник. - Кл ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2003. — 232 сл іл.
2. П. Хоровиц, У. Хилл. «Искусство схемотехники». Перев с англ. Мл «Мир», 1983 г. - 590 с.
3. Л. Фолкенберри. «Применение операционных усилителей и линейных ИС». Перев. с англ. Мл Мир, 1985 г. — 572 с.
4. В. С. Гутников. «Интегральная электроника в измерительных устройствах». Л.: Энергоатомиздат, 1988 г. - 304 с.
5. «Amplifier». Analog Devices 1992. Referens Manual.
6. «Microcontroller» Data Book AT89 Series. Atmel.
7. «Nonvolatile Memory» E<sup>2</sup>PROM, EPROM, FLASH. Data Book. Atmel.
8. В. Д. Разевиг, С. М. Блохнин. «Система P-CAO 8.5. Руководство пользоателя». М.: «Илекса», 1996 г. - 280 с.
9. В. Д. Разевиг. «Система проектирования печатных плат P-CAD для Windows». М.: СК Пресе, 1997 г. - 356 с.
10. К.Н. Ткачук и др. «Охрана труда в приборостроении». К.: Вища школа, 1980. - 192 с.
11. С. П. Павлов и др. «Охрана труда в радио- и электронной промышленности». М.: Энергия, 1979 г. - 208 с.
12. Слипка, Ял Проект системы ТОА 1 для проверки аналоговых и аналого-цифровых схем. Сборник конференции «О методах проектирования оборудования с интегральными схемами», г. Пардубице, октябрь 1984 г.
13. Краус, И.: Подготовка тест-программ для ТОА 1. Сборник конференции «Тест-техника 84», г. Ванска Быстрица, сентябрь 1984 г.
14. Крейчи, И.: Автокалибровка ТОА 1. Сборник докладов семинара «Дни новой техники в области исследования злектроники 84», г. Прага, май 9841.
15. Либихер, И., Слипка, Я., Штелла Й.: Обеспечение проверки аналоговых и аналого-цифровых схем тест-системой ТОА 1. Сборник докладов

конференции «Тесттехника 84», г. Банска Быстрица, сентябрь 1984 г.

16. Слипка, Я.: ТОВА 1 - автоматическая тест-система аналоговых и аналого-цифровых схем. Доклад на вставке и конференции Электро-экспо 84, Москва-Чертаново, июнь 1984 г.

17. Баскова І.П., Порєв В.А., Приміський В.П. Параметричні і газоаналітичні системи промислового моніторингу. Перший Всеукраїнський з'їзд екологів. (ECOLOGY-2006). Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. М. Вінниця, 4-7 жовтня 2006 року. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006.- 183

18. Павленко В. А. Газоанализаторы. – М – Л.:Маш-е, 1965. -269 с/

19. Тхоржевский В. П. Автоматический анализ газов и жидкостей на химических предприятиях. – М.: Химия. 1976. 272с

20. Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей. – М.: Энергия. 1970. - 552 с.

21. Бреслер П. И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение. – Л.: Энергия. 1980. -164 с.

22. Панов В.А. Справочник конструктора оптико-механических приборов. – Л.: Машиностроение. - 1980. – 742 с.

23. Вечкасов И. А., Кручинин И. А. и др. Приборы и методы анализа в ближней ИК области. М.: Химия – 1977.- 280 с.

24. Интернет джерело: <http://www.analitpribor.com>

25. Интернет джерело: <http://www.autex.spb.ru>

26. Интернет джерело: <http://www.kampi.ru>

27. Интернет джерело: <http://www.optec.ru>

28. Интернет джерело: <http://www.labinfo.ru.metal/tehnol/>

29. Интернет джерело: <http://www.envitec.com.ua/>

30. Сухан В.В., Табунська Т.В. Хімія: Посібник для вступників до вищих навчальних закладів. 3-є вид. – К.: Либідь. 1996. – 448 с.

31. Чвирук В.П., Линючева О.В. Электрохимия. 1996.

32. Номенклатурный перечень изделий, выпускаемых АО Харьковского ОКБА «Химавтоматика» в 1995–1996 г.

33. Стафеева. Полупроводниковые фотоприемники УФ, видимого и ближнего ИК-диапазона спектра. - М.: Радио. 1984.-326с.
34. Криксунов З.Л. Справочник по инфракрасной технике.-М.: Советское Радио. 1987.