

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікації, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра електроніки та наносистем

**Пояснювальна записка**  
до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

**Двоканальний вимірювач вологості природного газу**

Виконав: студент 2 курсу, групи МНТ-18мі  
Спеціальності 153 – «Мікро- та наносистемна  
техніка»

Белоусов М.Р. \_\_\_\_\_

Керівник: д.т.н., професор каф. ЕНС

Білинський Й. Й. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

Городецька О. С. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

Вінниця - 2019 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра електроніки та наносистем  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр  
Спеціальність 153 – «Мікро- та наносистемна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувач кафедри ЕНС  
д.т.н., проф. Білинський Й.Й

---

«3» вересня 2019р.

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Белюсову Миколі Руслановичу

1. Двоканальний вимірювач вологості природного газу

науковий керівник роботи Білинський Йосип Йосипович, д.т.н., професор

затверджено наказом ВНТУ від «3» вересня року №.254

2. Строк подання студентом роботи: 12.12.2019

3. Вихідні дані для виконання роботи:

Розробити електричну схему та друковану плату двоканального газоаналізатора з наступними параметрами:

- напруга живлення  $U_{ж} = 5 \text{ В}$ ;
- діапазон робочих температур  $t_{роб} = -40^{\circ}\text{C} \dots + 85^{\circ}\text{C}$ ;
- тактова частота мікроконтролера - 20 МГц;
- роздільна здатність АЦП: 10 біт;
- діапазон вимірювань 0,1 – 5% вологості газу;
- відносна похибка вимірювань 2%;
- наявність двох каналів опорного та вимірювального.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз сучасного стану розробок гігрометрів; структурна та електрична схеми двоканального газоаналізатора; алгоритм роботи мікроконтролера, моделювання роботи схеми; заходи з охорони праці та навколишнього середовища.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема електрична принципова та перелік елементів, плата друкована, складальне креслення та специфікація.

6. Консультанти розділів МК роботи

1. Науковий керівник \_\_\_\_\_ Білинський Й.Й. д.т.н., професор  
(підпис)

2. Економічна частина \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_  
наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

3. Охорона праці \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_  
наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Дата попереднього захисту «12» грудня 2019 р.

Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_  
наук. ступінь, вчене звання (посада), ініціали та прізвище

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завдання видав  
науковий керівник \_\_\_\_\_ Й.Й. Білинський д.т.н., професор  
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

Завдання отримав магістрант \_\_\_\_\_ М.Р. Белоусов  
(підпис)

«02» вересня 2019 р.

## АНОТАЦІЯ

Двоканальний вимірювач вологості природного газу / М. Р. Белоусов // Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця, ВНТУ, 2019. – 110 ст. Робота містить 20 рисунків, 13 таблиць, 28 бібліографій.

У магістерській кваліфікаційній роботі представлено розробку двоканального вимірювача вологості природного газу. Робота складається з п'яти основних розділів. В першому розділі наведено огляд сучасної теоретичної бази та проведено порівняльний аналіз існуючих пристроїв. В другому розділі наведено конструкторську частину, яка складається з розробки електричної принципової схеми та схемотехнічного моделювання. В третьому розділі наведено розробку друкованої плати. В четвертому розділі наведено розрахунок економічної вигоди від впровадження розробки. В п'ятому розділі наведено вказівки щодо охорони праці на робочому місці та розрахунок віброізоляції. В графічній частині представлені схема структурна, схема електрична принципова, друкована плата та трасування плати.

## ABSTRACT

Two-channel gas humidity meter/ M. R. Belousov // Master's qualification work. - Vinnitsa, VNTU, 2019. - 110 pages. The work contains 20 pictures, 13 tables, 28 bibliographies.

In the master's qualification work the development of the Two-channel gas humidity meter is presented. The work consists of five main sections. The first section provides an overview of the modern theoretical framework and a comparative analysis of existing devices. The second section presents the design part, which consists of developing an electric circuit diagram and schematic design. In the third section, the development of the printed circuit board. In the fourth section, the calculation of the economic benefits from the introduction of development. The fifth section provides guidance on occupational safety at work and the calculation of vibration isolation. In the graphic part there is a schematic diagram, an electric circuit diagram, a printed circuit board and a layout of the board.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ .....	9
1.1 Методи, що застосовуються для визначення вологи та (або) точки роси вуглеводнів у газах.....	9
1.2 Фізичні методи вимірювання параметрів вологості.....	11
1.3 Хімічні методи.....	20
1.4 Фізико-хімічні методи.....	25
1.5 Випарювально-психрометричні методи .....	28
1.6 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	31
1.7 Оцінювання рівня конкурентоспроможності розробки.....	33
1.8 Висновки .....	37
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ, МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ ДВОКАНАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ ГАЗУ.....	38
2.1 Математична модель двоканального вимірювального перетворювача вологості природного газу .....	39
2.2 Висновки.....	41
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АНАЛІЗАТОРА ВОЛОГОСТІ ГАЗУ .....	43
3.1 Перетворення та обробка вимірювальної інформації. Виведення функції перетворення аналізатора вологості .....	44
3.2 Апаратна реалізація аналізатора вологості природного газу.....	52
3.2.1 Алгоритм контролю вологості.....	52
3.2.2 Розробка електричної схеми та конструкції аналізатора.....	56
3.3 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT.....	62
3.5 Висновки .....	64
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	66
4.1 Прогнозування витрат на виконання НДДКР.....	66
4.2 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	73
4.3 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	76
4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи.....	78
4.4.1 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР.....	80
Висновки.....	81

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	82
5.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	82
5.2 Промислова та пожежна безпека при проведенні розробки двоканального вимірювача вологості природного газу.....	87
5.3 Висновки.....	89
ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92
ДОДАТОК А - ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	95
ДОДАТОК Б – МОДЕЛЮВАННЯ.....	98
ДОДАТОК В – СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА.....	101
ДОДАТОК Г – ПЛАТА ДРУКОВАНА .....	103
ДОДАТОК Д – СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ.....	104
ДОДАТОК Е – ДОПУСТИМІ ЗНАЧЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ .....	106
ДОДАТОК Ж – ЛІСТИНГ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ.....	109

## ВСТУП

### **Актуальність теми**

Вимірювання вологості природного газу є актуальною задачею при проведенні наукових досліджень в галузі аеродинаміки та суміжних галузях, в моніторингу рівня газу в газопроводах, на підприємствах, заводах, різноманітних виробництвах.

Вологість газу є одним із найважливіших параметрів при добуванні, транспортації та переробці природного газу. Надійне і точне вимірювання даного параметру потрібне на всіх етапах - від свердловини до газопереробного заводу, значно впливає на економічність і ефективність процесів. Завдання вимірювання вологості можна поділити на три великі групи по різних процесам газової промисловості, а саме:

в процесах осушення газу на родовищах та газопереробних заводах;  
при транспортації газу;  
у комерційному обліку газу.

У газовій промисловості загальними параметрами, які характеризують вологість та вміст важких вуглеводнів в природному газі, є температура точки роси води та вуглеводнів. Це обґрунтовується тим, що точка роси являється найінформативнішим показником кондиційності природного газу, за значенням якого можна без додаткових розрахунків, порівнюючи його з температурами газу та газового обладнання, оцінити рівень його транспортної кондиційності і зробити попередній прогноз щодо її збереження під час подальшої транспортації.

На сьогодні існує велика кількість портативних вимірювачів, які дозволяють отримувати миттєві значення рівня вологості газу.

До головних методів, що застосовуються для визначення вологості та (або) точки роси вуглеводнів у газах та, у природному газі, відносять [1 - 4]: фізичні методи визначення вмісту вологості, хімічні методи визначення вмісту вологості, фізико-хімічні методи визначення вмісту вологості, випарювально-

психрометричні методи визначення вологості, сорбційні методи визначення вологості, конденсаційні методи визначення температури точки роси вологи та вуглеводнів.

Фізичні методи вимірювання вологості газів можна додатково розділити на хвильові та загальнофізичні. Хвильові (спектрально-оптичні) методи вимірювання вологи в газоподібному середовищі побудовані на принципі поглинання електромагнітних та радіоактивних випромінювань парою води. Дані методи мають високу чутливість, яка підвищується зі зменшенням вологості, та невелику (на рівні 2...4 %) похибку вимірювання. Головними недоліками хвильових методів являються складність апаратури, яка використовується для реалізації методу, та можливість використання даного методу для визначення вмісту вологи лише в чистих газах. До хвильових методів можна віднести такі: інфрачервоний, оптико-акустичний, ультрафіолетовий, радіоактивний, радіо-спектрометричний.

#### **Мета дослідження**

Метою роботи є підвищення точності вимірювання вологості природного газу.

#### **Задачі дослідження:**

- проаналізувати сучасні пристрої вимірювання рівня вологості природного газу виявити їх переваги та недоліки;
- запропонувати структурну схему пристрою вимірювання вологості газу;
- розробити друковану плату та складальне креслення пристрою;

**Об'єктом дослідження** є процес перетворення значень відносної вологості природного газу в електронні сигнали.



### **Методи дослідження:**

При виконанні поставлених задач було використано: теорія поширення світла в газових середовищах ; теорія вологості речовини; методи фізичного та математичного моделювання; теорії вимірювань, контролю та похибок; теорію випадкових процесів; методи математичної статистики при обробці результатів; методи метрологічної атестації і перевірки нестандартизованих засобів вимірювання.

**Наукова новизна одержаних результатів і положень**, що виносяться на захист полягає в подальшому розвитку методу та засобу вимірювального контролю вологості газу в інфрачервоній області, який дозволяє в промислових умовах у реальному часі забезпечити вірогідність контролю, що не поступається методу точки роси.

### **Структура роботи**

Дипломний проект складається із трьох розділів. В першому розділі проведено огляд і аналіз сучасних пристроїв вимірювання рівня вологості природного газу. В другому розділі проведено розробку структурної схеми пристрою, також на її основі розробку схеми електричної принципової, наведено їх опис, призначення та особливості функціонування основних вузлів, та проведено моделювання електричної схеми в пакеті Proteus та підтверджено зазначені в завданні технічні вимоги до пристрою. В третьому розділі роботи обґрунтовано вибір елементної бази пристрою, розроблено топологію друкованої плати, обґрунтований вибір матеріалу та способу її виготовлення, а також розроблено складальне креслення виробу.

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

## 1.1 Методи, що застосовуються для визначення вологи та (або) точки роси вуглеводнів у газах

До головних методів, що застосовуються для визначення вологи та (або) точки роси вуглеводнів у газах та, у природному газі, відносять [1-4]: фізичні методи визначення вмісту вологи, хімічні методи визначення вмісту вологи, фізико-хімічні методи визначення вмісту вологи, випарювально-психрометричні методи визначення вологості, сорбційні методи визначення вологості, конденсаційні методи визначення температури точки роси вологи та вуглеводнів.

Фізичні методи вимірювання вологості газів можна додатково розділити на хвильові та загальнофізичні. Хвильові (спектрально-оптичні) методи вимірювання вологи в газоподібному середовищі побудовані на принципі поглинання електромагнітних та радіоактивних випромінювань парюючої води. Дані методи мають високу чутливість, яка підвищується зі зменшенням вологості, та невелику (на рівні 2...4 %) похибку вимірювання. Головними недоліками хвильових методів являються складність апаратури, яка використовується для реалізації способу, та можливість використання даного способу для визначення вмісту вологи лише в чистих газах. До хвильових методів можна віднести такі: інфрачервоний, оптико-акустичний, ультрафіолетовий, радіоактивний, радіо-спектрометричний.

Серед методів, що використовують загальнофізичні принципи визначення вологості газів [2-4], можна визначити такі: пневматичний, акустичний, дифузійний, тепловий, маспектрометричний, діелектричний.

Хімічні методи визначення вмісту водяної пари в газовому середовищі мають особливості, які полягають в наступному - процес визначення супроводжується хімічною реакцією [2-4]. Деякі з цих методів доцільніше застосовувати в лабораторних умовах. Серед хімічних методів можна

визначити такі: ваговий, абсорбційний, колірний, турбодиметричний, газометричний.

Фізико-хімічні методи є однією з найбільших груп методів визначення вмісту вологи в газах. Методи, що входять до цієї групи, є досить різноманітними за принципом дії [2, 4-6], а вимірювальна основа, за допомогою якої вони реалізуються, має багато модифікацій. Однак спільним для усіх є основний принцип первинної дії — поглинання твердою (адсорбція), або рідкою (абсорбція) речовиною пароподібної вологи з газу, що аналізується.

До фізико-хімічних методів відносять: ваговий, деформаційний, частотний (п'єзокварцевий), сорбційно-ємнісний (діелькометричний), тепловий (калориметричний), інтерферометричний, хроматографічний, резистивний, об'ємний, термоелектролітичний, кулонометричний [2].

Випарювально-психрометричні методи побудовані на існуванні залежності швидкості випарювання з поверхні межі розподілу вода-газ від відносної вологості газу [2,4-6]. Виділяють такі випарювально-психрометричні методи: конденсаційно-психрометричний, компенсаційно-психро-метричний, випарювально-ваговий.

## 1.2 Фізичні методи вимірювання параметрів вологості

### Інфрачервоний вимірювач вологості газу

Винахід відноситься до області газового аналізу і може бути застосований при розробці інфрачервоних газоаналізаторів для вимірювання концентрацій найбільш розповсюджених газів (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO), які є в складі відпрацьованих газів транспортних засобів, промислових підприємств та енергетичних установок. Існуючий інфрачервоний гігрометр, який містить джерело інфрачервоного випромінювання, фільтр, що пропускає інфрачервоне випромінювання для відповідного газу, наприклад CO або CH<sub>4</sub>. З цього видно, що основний недолік даного газоаналізатора це неможливість одночасного вимірювання концентрації декількох газів [8].

Даний газоаналізатор, складається з двох джерел інфрачервоного випромінювання, двох кювет вимірювальної і порівняльної, інтерференційних фільтрів, блоку електронної обробки інформації. Основний його недолік це неможливість виміру концентрації декількох газів водночас з мінімальною похибкою вимірювань. Для вимірювання концентрації 1-го газу потрібні дві кювети, відповідно якщо потрібно буде виміряти 3-4 концентрації газу водночас кількість кювет зросте до 6-8, а це ускладнить конструкцію та зменшить надійність. Метою теперішнього виходу є можливість швидкого високоточного вимірювання концентрацій газів одночасно та паралельно.

Поточне завдання вирішується тим, що двоканальний автоматизований інфрачервоний гігрометр, що складається із джерела інфрачервоного випромінювання, розміщеного в напівсферичному дзеркалі, на оптичній осі джерела інфрачервоного випромінювання послідовно розміщені механічний дисковий обтюратор, який з'єднаний із валом електродвигуна, вимірювальної кювети з вхідними і вихідними каналами і вхідних і вихідних газових патрубків, приймачів інфрачервоного випромінювання, що розміщені

навпроти вихідного отвору вимірювальної кювети, на оптичній осі джерела інфрачервоного випромінювання, на кожному з приймачів інфрачервоного випромінювання прикріплено відповідний інтерференційний фільтр, електричні виходи приймачів інфрачервоного випромінювання з'єднані з електронними підсилювачами в блоці підсилення, виходи електронних підсилювачів з'єднані із блоком обробки аналогових сигналів, виходи блоку з'єднані з входами мікропроцесорного пристрою, вихід мікропроцесорного пристрою із цифровим індикаторним табло. Також, інтерференційні фільтри змонтовані на приймачах інфрачервоного випромінювання та мають відповідні до вимірюваних газів різні значення пропуску довжини хвиль інфрачервоного випромінювання, притому що один із інтерференційних фільтрів повинен бути розрахований на нульовий газ.

При тому ж, на вхідному газопроводі, що з'єднується із вхідним газовим патрубком вимірювальної кювети лінійно розміщені перший та другий фільтри вологовіддільники, перший вхід-вихід електроклапану нульового газу, компресор, перший вхід-вихід електроклапана юстирувального газу, фільтри очистники пилу. Також, вихідний газовий патрубок вимірювальної кювети з'єднаний із вихідним газопроводом через сенсор-вимірювач кисню, що в свою чергу, з'єднано з входом мікропроцесорного пристрою. Окрім того, приймачі інфрачервоного випромінювання розміщені в термостатичному корпусі, в якому вмонтований термосенсор і електронагрівальний елемент, вихід термосенсору з'єднано з входом блоку терморегулятора, вихід блока терморегулятора з'єднаний із електронагрівальним елементом. При чому, на зовнішній поверхні вимірювальної кювети розміщений сенсор-вимірювач температури, а на вихідному газопроводі розміщений сенсор-вимірювач атмосферного тиску, електричні виходи сенсорів-вимірювачів температури і атмосферного тиску з'єднані із входами мікропроцесорного приладу. Джерело випромінювання з'єднане із стабілізатором інфрачервоного випромінювання. Також, електродвигун механічного дискового обтюратора поєднано із стабілізатором

обертів. Інші входи електроклапанів нульового і юстирувального газів з'єднані з нульовим і юстирувальним газопроводами, причому на нульовому газопроводі розміщено фільтр - поглинач вуглеводнів. Виходи першого і другого фільтрів вологовіддільників з'єднані з компресором вологи. Електричні виводи електроклапанів нульового і юстирувального газів з'єднані з виводами мікропроцесорного пристрою. Електричні виходи блока електроживлення поєднані із блоком терморегуляторів, з мікропроцесорним пристроєм, блоком підсилювачів, стабілізатором інфрачервоного випромінювання, стабілізатором обертів. На рисунку наведена функціональна схема двоканального автоматизованого інфрачервоного газоаналізатора, де введені наступні позначення:

- 1 - вхідний газопровід;
- 2, 3 - фільтри-вологовіддільники;
- 4 - електроклапан нульового газу;
- 5 - компресор;
- 6 - електроклапан юстирувального газу;
- 7 - фільтр очистки пилу;
- 8 - вхідний газовий патрубок;
- 9 - компресор вологи;
- 10 - вихідний газопровід;
- 11 - нульовий газопровід;
- 12 - юстирувальний газопровід;
- 13 - вихідний газопровід;
- 14 - механічний дисковий обтюратор;
- 15 - електродвигун;
- 16 - стабілізатор обертів;
- 17 - напівсферичне дзеркало;
- 18 - джерело інфрачервоного випромінювання;
- 19 - стабілізатор інфрачервоного випромінювання;
- 20 - вимірювальна кювета;

- 21 - вхідний канал;
- 22 - вихідний канал;
- 23 - вихідний газовий патрубок;
- 24 - інтерференційні фільтри;
- 25 - приймачі інфрачервоного випромінювання;
- 26 - блок терморегуляторів;
- 27 – температурний сенсор;
- 28 - електронагрівальний елемент;
- 29 - термостатичний корпус;
- 30 - блок підсилювачів;
- 31 - блок електроживлення;
- 32 - блок обробки аналогового сигналу;
- 33 - мікропроцесорний пристрій;
- 34 - цифрове індикаторне табло;
- 35 - сенсор-вимірювач атмосферного тиску;
- 36 - сенсор-вимірювач температури;
- 37 - сенсор-вимірювач кисню;
- 38 - фільтр-поглинач вуглеводнів.

Багатоканальний автоматизований інфрачервоний газоаналізатор працює таким чином. Джерело інфрачервоного випромінювання 18 розміщено в півсферичному дзеркалі 17. На оптичній осі ДЧВ 18 розміщено механічний обтюратор 14, який механічно з'єднаний із валом електродвигуна 15 та вимірювальна кювета 20. Вимірювальна кювета 20 має вхідні 21 і вихідні 22 вікна. У вимірювальній кюветі 20 є вхідний 8 і вихідний 23 газові патрубки. Навпроти вихідного вікна 22 вимірювальної кювети 20, на оптичній осі ДЧВ 18 розміщено приймачі інфрачервоного випромінювання (ПЧВ) 25. На кожному з ПЧВ 25 змонтовано інтерференційні фільтри 24 (кожен з фільтрів має "свою" смугу пропускання інфрачервоного випромінювання, відповідно до аналізованого газу). Приймачі ПЧВ 25 встановлені в термостатичний корпус 29, в якому встановлений нагрівальний

елемент 27 та термосенсор 28 які з'єднані з блоком терморегулятора 26. Електричні виходи ППЧВ 25 з'єднані з блоком підсилювачів 30, виходи яких з'єднані з блоком обробки аналогового сигналу 32. Виходи блоку обробки аналогового сигналу 32 з'єднані з входами мікропроцесорного пристрою 33. Вихід мікропроцесорного пристрою 33 з'єднано із цифровим індикаторним табло 34. На вхідному газопроводі 1 послідовно розміщені перший 2 і другий 3 фільтри вологовідділювачі, перший вхід-вихід електроклапана нульового газу 4, компресор 5, перший вхід-вихід електроклапана юстирувального газу 6, фільтр очистки пилу 7. Вихід фільтру 7 з'єднано з вхідним газовим патрубком 8, вимірювальної кювети 20. Виходи фільтрів вологовідділювачів 2 і 3 з'єднані з компресором вологи 9. Нульовий газопровід 11 через фільтр-поглинач вуглеводнів 38 з'єднаний із другим входом електроклапана нульового газу 4. Юстирувальний газопровід 12 з'єднано з другим входом електроклапана юстирувального газу 6. Електричні входи електроклапану нульового газу 4 і електроклапану юстирувального газу 6 з'єднані з виходами мікропроцесорного пристрою 33. Вихідний газовий патрубок 23 вимірювальної кювети 20 поєднано з вихідним газопроводом 13 через сенсор-вимірювач кисню 37. В вихідному газопроводі 13 також встановлено сенсор-вимірювач атмосферного тиску 35. Електричний вихід сенсора-вимірювача кисню 37 з'єднано з входом мікропроцесорного пристрою 33. Електродвигун 15 з'єднано із стабілізатором обертів 16. Джерело інфрачервоного випромінювання 18 з'єднано з стабілізатором інфрачервоного випромінювання. Сенсор-вимірювач температури 36 встановлено на зовнішній поверхні вимірювальної кювети 20. Електричні виходи сенсорів 35 і 36 з'єднані з входами мікропроцесорного пристрою 33. Блок електроживлення 31 з'єднано виходами із стабілізатором обертів 16, стабілізатором інфрачервоного випромінювання 19, блоком підсилювачів 30, блоком терморегуляторів 26, блоком обробки аналогового сигналу 32 і мікропроцесорним пристроєм 33. Гігрометр працює наступним чином. Прилад має три режими роботи: аналіз калібрування нуля юстирування



шкали В режимі "Аналіз" за командою із мікропроцесорного пристрою 33 відкриваються електроклапани нульового газу 4 і юстирувального газу 6 за напрямком вхідного газопроводу 1 (вхід 1 електроклапанів 4 і 6). За рахунок роботи компресора 5 аналізована багатокомпонентна газова суміш прямує на вхідний газопровід 1. В подальшому суміш проходить через два лінійно з'єднані фільтри - вологовіддавачі 2 і 3 де відбувається виведення вологи з газової суміші. Наступним кроком волога за допомогою компресора вологи 9 видаляється з фільтрів вологовіддавачів 2 і 3. Газова суміш через фільтр очистки пилу 7, вхідний газовий патрубок 8 прямує у вимірювальну кювету 20. Далі газ із вимірювальної кювети 20, через вихідний газовий патрубок 23 і сенсор-вимірювач кисню 37 виводиться через вихідний газопровід 13. У вимірювальній кюветі 20 газова суміш потрапляє під дію переривчатого потоку інфрачервоного випромінювання від джерела інфрачервоного випромінювання 18 [10].

Джерело інфрачервоного випромінювання 18, з метою стабілізації інтенсивності випромінювання, живиться від стабілізатора інфрачервоного випромінювання 19, який забезпечує коливання інтенсивності потоку випромінювання на рівні 0,1 %. Таким чином досягається висока стабільність потоку інфрачервоного випромінювання. Потік випромінювання переривається механічним дисковим обтюратором 14, що з'єднаний із електродвигуном 15. Електродвигун 15, з метою стабілізації обертів механічного дискового обтюратора 14, живиться від стабілізатора обертів 16, завдяки чому, досягається висока стабільність обертів механічного дискового обтюратора 14. Переривчатий потік інфрачервоного випромінювання діє на аналізовану газову суміш, що проходить через вимірювальну кювету 20. Згідно закону Ламберта-Бугера-Бера газу, які складаються з двох молекул ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CH}_4$  та інші) мають властивість поглинати інфрачервоне випромінювання на довжині хвилі характерній для відповідного газу. Таким чином, переривчатий потік інфрачервоного випромінювання всередині вимірювальної кювети 20 поглинається кожним газом на "своєї" довжині

хвилі. Надалі цей потік проходить через інтерференційні фільтри 24, кожен з яких пропускає тільки "свій" послаблений потік випромінювання. Один з інтерференційних фільтрів налаштований на нульовий газ, зазвичай це очищене повітря, або азот. Випромінювання, яке пройшло через інтерференційні фільтри 24 попадає на приймачі інфрачервоного випромінювання 25. Електричні сигнали приймачів інфрачервоного випромінювання 25 пропорційні концентрації відповідних газів в вимірювальній кюветі 20. Сигнали з приймачів інфрачервоного випромінювання 25 підсилюються в блоці підсилення 30 і надалі потрапляють в блок обробки аналогового сигналу 32. З метою зменшення впливу температури приймачів інфрачервоного випромінювання 25 які розміщені в термостатичному корпусі 29. Корпус 29 нагрівається через вплив електронагрівального елемента 28 та контролюється і стабілізується за допомогою терморегулятора 26, керованим термодатчиком 27. В блоці обробки аналогового сигналу 32, сигнали з блоку підсилювачів 30, додатково оброблюються (масштабне перетворення, лінеаризація і т.і.) і потрапляють на вхід мікропроцесорного пристрою 33. Цифровий код, пропорційний концентрації кожного з газів, проходить обробку в мікропроцесорному пристрої 33 і виводиться на цифрове індикаторне табло 34. Застосування "нульового" приймача інфрачервоного випромінювання в приймачах інфрачервоного випромінювання 25 дозволяє значно знизити похибку вимірювання гігрометра, тому, що всі дестабілізуючі фактори ( температура, тиск, волога ) діють в однаковій мірі як на вимірювальні гази, так і на нульовий газ. А за рахунок диференціальної різницевої взаємодії сигналів із нульового приймача інфрачервоного випромінювання 25 і відповідно приймачів інфрачервоного випромінювання 25 кожного з вимірювальних газів всі дестабілізуючі фактори взаємокомпенсуються і тим самим знижується похибка і підвищується точність вимірювань. Сенсори-вимірювачі температури 36 і атмосферного тиску 35 видають електричні сигнали пропорційно температурі аналізуючого газу і атмосферному тиску.

Ці сигнали попадають на мікропроцесорний пристрій, по заданому алгоритму додатково корегують вихідні сигнали з приймачів інфрачервоного випромінювання 25 і тим самим, додатково, знижують похибку вимірювань. За рахунок установки на вихідному газопроводі 13 сенсора-вимірювача кисню 37 газоаналізатор може робити вимірювання кисню (одномолекулярного газк), що вкрай важливо для налагодження енергетичних об'єктів, двигунів автомобілів. Можливе регулювання співвідношення повітря-паливо. Сигнал із сенсору-вимірювача кисню 37 обробляється в мікропроцесорному пристрої та виводиться на цифрове індикаторне табло 34. В режимах "Калібрування нуля" і "Юстирування шкали" на вхід нульового 11 і юстирувального 12 газопроводів позачергово подаються відповідно "нульовий" і юстирувальний газ. При цьому електроклапани нульового газу 4 і юстирувального газу 6 переходять по сигналу з мікропроцесорного пристрою 33 в режим закриття входу 1, та відкриття входу 2. Таким чином закривається доступ аналізованому газу і в вимірювальну кювету 20 надходить нульовий газ очищений від вуглеводнів в фільтрі-поглиначі вуглеводнів 38, або юстирувальний газ, що відповідає кінцю діапазону кожного з вимірювальних газів. Надалі робота аналізатора аналогічна. Всі електронні блоки газоаналізатора 16, 19, 26, 32, 33 беруть живлення від високостабільного блока електроживлення 31. Таким чином за рахунок комплексного вирішення наступних технічних проблем: фільтрації і очистки газів; стабілізації інфрачервоного випромінювання; термостабілізації приймачів інфрачервоного випромінювання; корегування вихідного сигналу за властивостями атмосферного тиску і температури газу; одночасного вимірювання багатьох газів в одній кюветі; диференційного включення сигналів з нульового приймача і приймачів кожного з вимірювальних газів, в газоаналізаторі вирішується задача високоточного виміру концентрації газів одночасно і паралельно. Гігрометр дозволяє знизити похибку вимірювань, підвищити швидкодію, застосувати гігрометр для широкого кола споживачів в енергетиці, транспорті, промисловості.

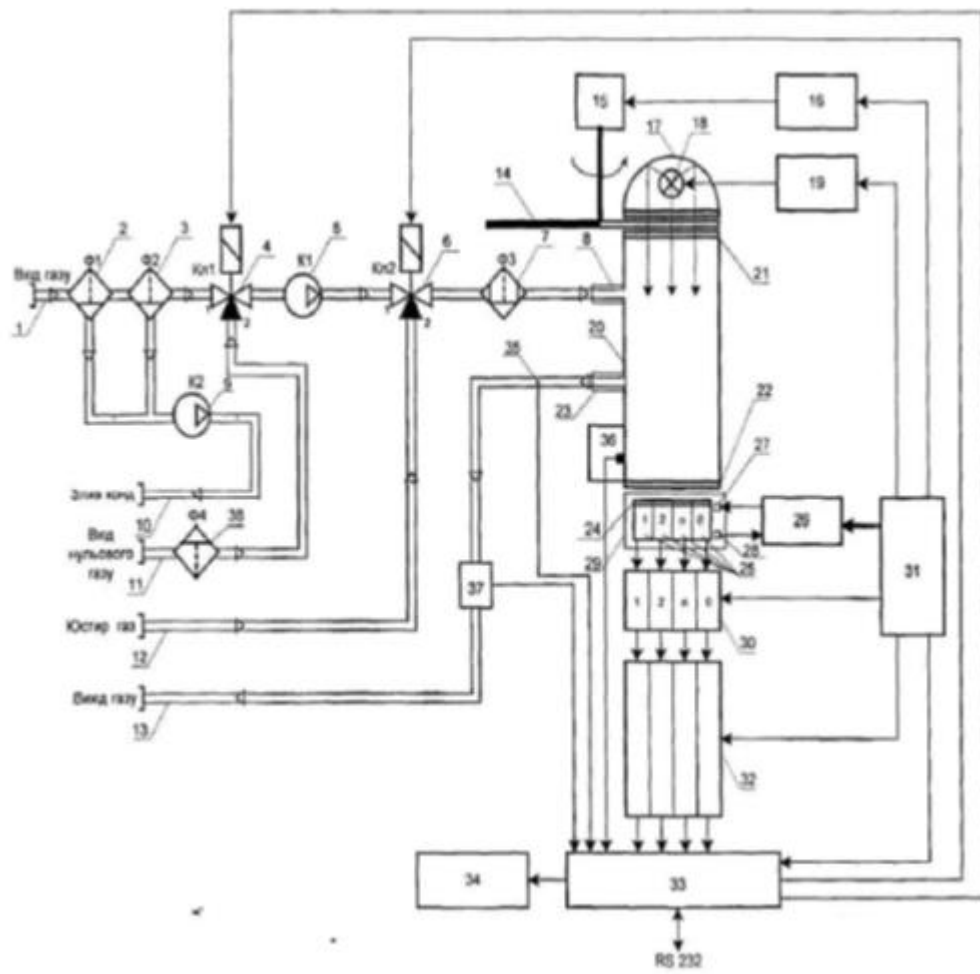


Рисунок 1 - Інфрачервоний вимірювач вологості газу

### 1.3 Хімічні методи

Термоадсорбційний гігрометр включає вологоперетворюючий елемент із колодкою, що складається із термоперетворюючого елемента, який розташований в корпусі, на поверхні якого встановлено вологоперетворюючий шар, поверх шару навиті два електроди, що підключені до джерела змінного струму. Джерело змінного струму підключають до електродів з боку, протилежно розміщеного до колодки вологоперетворювача [15].

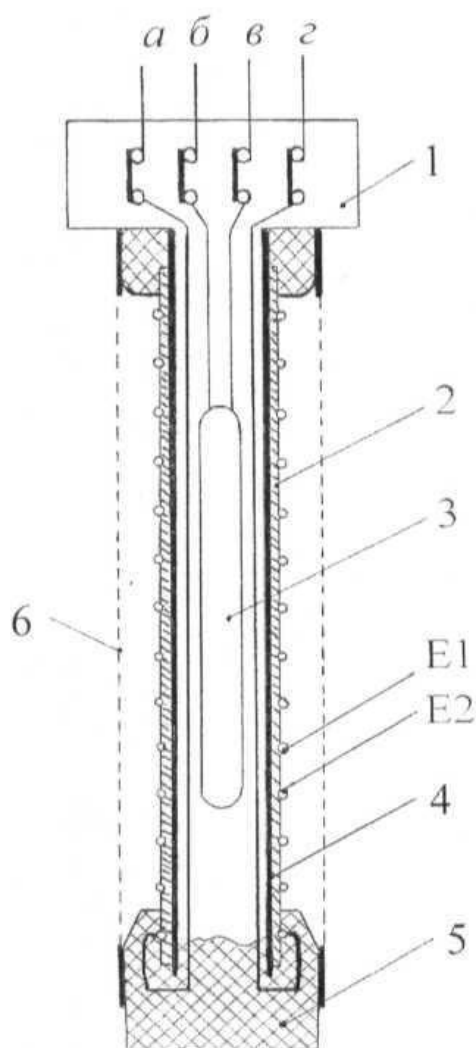


Рисунок 2 - Термоадсорбційний гігрометр

Корисна модель відноситься до термоадсорбційних гігрометрів, і може бути використана під час розробки і застосування газоаналізаторів для вимірювання вологості газів. Даний термоадсорбційний гігрометр складається із вологоперетворюючого елемента, 5 вимірювача рівноважної температури та джерела змінного струму. Вологоперетворювальний елемент гігрометра складається з термоперетворюючого елемента, на поверхні якого сформовано вологоперетворюючий шар із гігроскопічної солі, наприклад солі хлориду літію. Поверх шару навиті два електроди, підключені до джерела змінного струму. Принцип роботи термоадсорбційного гігрометра полягає в залежності рівноважної температури вологоперетворюючого шару, при його нагріванні, від пружності водяної пари аналізованого газового середовища. Внаслідок цього суть вимірювання вологості газу вказаним гігрометром полягає у нагріванні вологоперетворюючого шару до температури, за якої настає гіротермодинамічний рівноважний стан водяної пари між вологоперетворюючим шаром та газовим середовищем [15,24].

Температуру, при якій настає рівноважний стан, називають рівноважною температурою вологоперетворюючого шару, який складається із кристалічної гігроскопічної солі та електропровідної міжфазної області на її поверхні. Нагрівання здійснюється змінним електричним струмом через колодку, під'єднану до вологоперетворювача. Підключення електричного струму до електродів здійснюється з боку вологоперетворюючого шару, а саме з боку колодки. Струм протікає через міжфазну область та електроди. Вимірювання рівноважної температури здійснюється за допомогою термоперетворювача, який має тепловий контакт з вологоперетворюючим шаром. За значенням рівноважної температури, яка створюється автоматично, визначається пружність водяної пари за градувальною характеристикою [24]. Недоліком газоаналізатора є невеликий період безнаглядної експлуатації, на обмеження якого впливає конусність розподілу гігроскопічної солі вздовж вологоперетворювального елемента під час формування вологоперетворюючого шару, внаслідок підключення

електричного струму до електродів з боку вологоперетворюючого шару, а саме з боку колодки, звідки починається формування вологоперетворюючого шару. Тому з боку колодки гігроскопічної солі у вологоперетворювальному шарі більше, ніж з протилежного боку, а також на обмеження періоду безнаглядної експлуатації впливає електрохімічне розкладання гігроскопічної солі на поверхнях електродів в момент протікання іонного струму через міжелектродний проміжок. Відомий також винахід збільшення періоду безнаглядної експлуатації термоелектролітичного гігрометра, що складається із термоперетворювального елемента, на поверхні якого сформовано вологоперетворюючий шар. Поверх шару змонтовані два електроди, до яких підключається джерело змінного струму, згідно із винаходом, джерело змінного струму під'єднане до електродів із протилежних кінців вологоперетворюючого шару. У даному випадку при формуванні вологоперетворюючого шару гігроскопічна сіль на поверхні вологоперетворювача розподіляється рівномірно внаслідок рівномірного по всій поверхні перетворювача нагрівання розчину гігроскопічної солі для випаровування розчинника та кристалізації солі, тобто формування вологоперетворюючого шару. Недоліком у даному винаході, як і в попередньому, є порівняно невеликий період експлуатації гігрометра через електрохімічне розкладання гігроскопічної солі на поверхні електродів. Особливо інтенсивне розкладання солі відбувається у кінці вологоперетворюючого шару, протилежного колодці, внаслідок охолодження його конвективним потоком аналізованого газового середовища. Охолодження веде до збільшення струму у цій частині вологоперетворюючого шару для підтримки його рівноважної температури. Внаслідок інтенсивного електрохімічного розкладання гігроскопічної солі є зменшення її кількості в кінці перетворювача протилежного колодки і, як наслідок, поступове переміщення зони крайового градієнта рівноважної температури, яке спрямоване в бік колодки [15]. При переміщенні зони

крайового градієнта температури у зону розташування термоперетворюючого елемента, інформаційний сигнал його нижче за рівноважну температуру, що і обмежує період безнаглядної експлуатації гігрометра, так як похибка виміру вологості перевищує допустиму 60 похибку вимірювання, гарантовану виробником. В основу корисної моделі поставлена задача збільшення періоду безнаглядної експлуатації термоадсорбційного гігрометра, в якому зміною умов виконання відомої операції досягалось би підвищення періоду експлуатації гігрометра у межах допустимої похибки [13].

Поставлена задача вирішена тим, що в термоадсорбційному гігрометрі, що містить вологоперетворюючий елемент з колодкою, який складається з термоперетворюючого 5 елемента, розташованого у корпусі, на поверхні якого сформовано вологоперетворюючий шар, поверх шару навиті два електроди, до яких підключене джерело змінного струму, згідно з корисною моделлю, джерело змінного струму підключають до електродів з боку, протилежного розміщенню колодки вологоперетворювача. Запропонована модель дає можливість збільшити період експлуатації газового аналізатора в межах допустимої похибки до  $\sim 20\%$ , в залежності від умов його експлуатації, тобто тепловологісного стану аналізованого газового середовища.

На рисунку зображений вологоперетворюючий елемент (поздовжній переріз) запропонованої корисної моделі термоадсорбційного гігрометра, де: 1 - з'єднувальна колодка; 2 - склопанчішка; 3 - термоперетворюючий елемент; 4 - корпус (трубка); 5 - ковпачок; 6 - захисний повітропроникаючий екран; E1, E2 - електроди.

На поверхні трубки 4, усередині якої у геометричному центрі встановлено термоперетворюючий елемент 3, надіто склопанчішку 2. На склопанчішку еквідістантно навиті два електроди E1 та E2.

Підготовку вологоперетворюючого елемента до експлуатації виконують у такий спосіб. Водним розчином гігроскопічної солі просочують



склопанчішку, наприклад, за допомогою пробірки методом занурення. Після просочення склопанчішки, перетворювач витягають із розчину й на нього надягають захисний екран 6, після чого до електродів E1 та E2 підключають змінний електричний струм через виводи а і г. Струм протікає через електроди та сольовий розчин, який нагрівається і випаровує розчинник, внаслідок чого на поверхні вологоперетворювача утворюється кристалічна гігроскопічна сіль хлориду літію, через яку електричний струм не протікає. Сіль охолоджується і адсорбує водяну пару з газового середовища та створює на поверхні кристалічної солі електропровідну міжфазну область. Внаслідок цього в об'ємі склопанчішки утворюється вологоперетворюючий шар, що складається із кристалічної солі хлориду літію та електропровідної області на її поверхні. Струм, що протікає через дану область, нагріває вологоперетворюючий шар і, після завершення перехідних процесів сорбції і десорбції водяної пари, встановлюється рівноважна температура вологоперетворювача, при якій настає гіготермодинамічний рівноважний стан пружності водяної пари між вологоперетворюючим шаром та газовим середовищем. Вимірювання пружності водяної пари у газовому середовищі визначають за допомогою термоперетворювача 3 (виводи б і в), за значенням якої і визначають пружність водяної пари за градуовальною характеристикою.

У запропонованій моделі газового аналізатора джерело змінного струму під'єднане до електродів з боку вологоперетворюючого шару, протилежного розміщенню колодки. Збільшення періоду безнаглядної експлуатації термоадсорбційного гігрометра відбувається за рахунок збільшення гігроскопічної солі з боку, протилежного колодці 1, під час формування вологоперетворюючого шару, тобто розподіл гігроскопічної солі у вологоперетворюючому шарі нерівномірний, з боку, протилежного колодці, гігроскопічної солі у вологоперетворюючому шарі більше, ніж біля колодки. Таким чином при формуванні вологоперетворюючого шару гігроскопічної солі значно більше у місці її інтенсивного електрохімічного розкладання під

час протікання електролітичного струму і, як наслідок, уповільнення переміщення зони крайового градієнта рівноважної температури у розташування термоперетворювального елемента, тобто збільшення періоду експлуатації газового аналізатора у межах допустимої похибки, а період експлуатації гігрометра обмежений часом повного розкладання гіроскопічної солі.

#### **1.4 Фізико-хімічні методи**

Винахід відноситься до вимірювальної техніки, а саме до вагового методу вимірювання відносної вологості газів. Даний ваговий гігрометр, включає терези з вологочутливим елементом та противагу, яка також виготовлена з вологочутливого матеріалу. Вимірюють величину відхилення терезів, яка виникає після встановлення рівноваги вологопоглинаючою речовиною з вологого навколишнього середовища. Проте, даний пристрій придатний для вимірювання в незапилених середовищах, на результат вимірювання в промислових умовах впливає забруднення вологочутливого елемента, окрім того, рівноважне насичення вологочутливого елемента водою відбувається, згідно законів дифузії, з безмежно великим часом, що не дає можливості використати його для керування технологічними процесами. В основу винаходу поставлена мета створити такий ваговий гігрометр, у якому генерування коливання терезів, частоти який залежить від концентрації води в газі і температур газу, дозволяє визначати відносну вологість і позбутися впливу мікрозабруднень та зменшити інерційність приладу[14].

Поставлене завдання вирішується тим, ваговий гігрометр, що містить терези, згідно винаходу, додатково оснащений розміщеним на плечах терезів реверсивними тепловими насосами, наприклад, термо-електричними батареями, з поверхнями для конденсації вологи, мінімум одним датчиком відхилення терезів, під'єднаним до реверсивного теплового насоса та блок

обробки інформації, з яким зв'язаний таймер датчика температури, та терез обладнаний демпфером. За допомогою теплових насосів на плечах терезів по чергово досягається температури нижчі від температур точки роси, і на поверхнях для конденсації відбувається процес накопичення вологи за рахунок інтенсивної конденсації, швидкість якого пропорційна вологості повітря. Накопичен 5 волог на одному плечі терезів приводить її відхилення і при визначені накопичені маси вологи відбувається відхилення визначених кутів, що фіксується датчиком відхилення. Час, потрібний для цього, визначається за допомогою таймеру, і разом з температурою, виміряною за допомогою датчика температури, характеризує відносну вологу повітря, як обчислюється в блоці обробки інформації. Можливі мікробруднення будуть однаково накопичуватися на обох плечах терезів і тому не будуть впливати на величину і швидкість відхилення. Демпфер заспокоює коливання терезів. Винахід пояснюється кресленням, на якому зображено блок-схему вагового гігрометра, де 1 - терези; 2,3 термобатарея (ТБ); 4,5 - поверхня для конденсації (ПК); 6 - датчик відхилення терезів (ДВТ); 7 - таймер (ТА); 8 - датчик температур (ДТ); 9 - демпфер (ДЕ); 10 - блок живлення термобатареї (БЖ); 11 - блок обробки інформації (Бі). Ваговий гігрометр містить терези, на обох плечах яких розміщені реверсивні теплові насоси, наприклад, термобатарея 2 і 3, 3 під'єднані до блоку живлення 10. На термо батареях містяться поверхні для конденсації вологи 4, 5. З терезами механічно з'єднані датчики відхилення терезів. Таймер 7 і датчик температури 8 електрично під'єднані до блоку обробки інформації 11, який виконаний на базі мікропроцесору. Терези 1 обладнані демпфером 9. Ваговий гігрометр працює наступним чином. Блоком живлення 10 створюється необхідний по величині і якості постійний струм живлення термобатареї 2, 3, яка встановлена на плечах терезів 1. Термобатареї 2 3 під'єднані до блоку живлення 10 у такий спосіб, що одна термобатарея, наприклад 2, поверхню конденсації 4 охолоджує, в той час термобатарея 3 поверхню конденсації 5 підігріває; при зміні напрямку струму ситуація змінюється на протилежну.

На поверхні, яка охолоджується, досягається температура нижча від температури точки роси, після чого починається конденсація водяної пари і накопичення маси конденсату, а на поверхні, що підігрівається, відбувається випереджаюче випаровування вологи, що приводить до відхилення терезів 1 від нейтрального положення. При відхиленні терезів 1 на визначений кут, датчиком відхилення 6 подається сигнал в блок живлення 10 на реверсивне переключення теплових насосів 2, 3, блок живлення 10 змінює напрям струму, а таймер 7 фіксує початок циклу коливань. При відхиленні терезів 1 в іншу сторону на такий же кут, що фіксується датчиком відхилення 6, знов змінюється напрям струму і при наступному спрацьовуванні датчик відхилення 6, таймер 7 визначає період коливань, який разом з температурою, виміряно датчиком температур 8, передається в блок обробки інформації 11, за допомогою якого, на підставі періоду коливань та температури, визначається вологість газу.

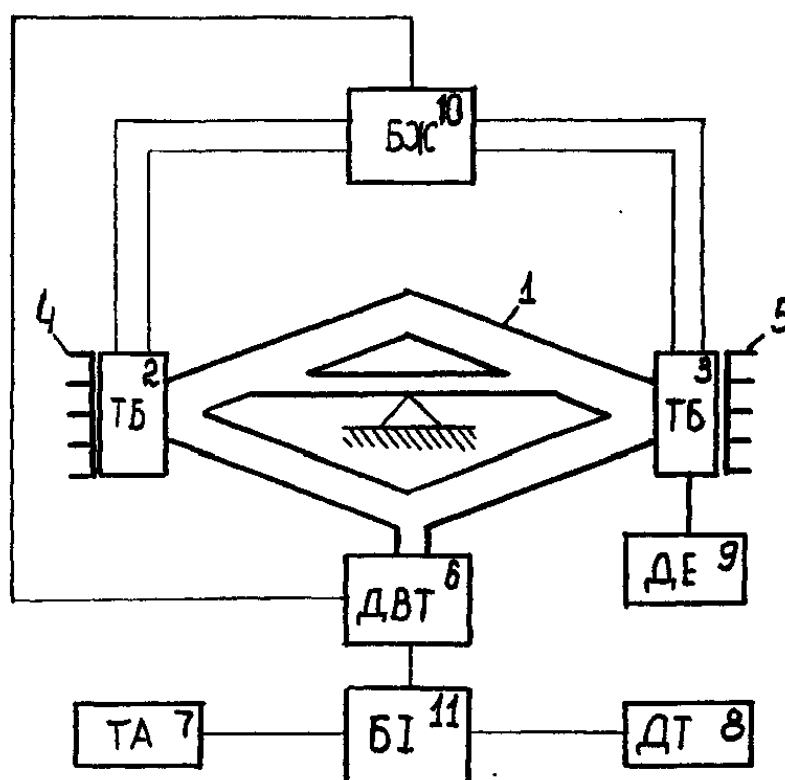


Рисунок 3 – Ваговий гігрометр

### 1.5 Випарювально-психрометричні методи

Конденсаційний гігрометр складається з вимірювальної камери з штуцерами для підведення та відведення газу, до якої прикріплено вузол освітлювача, який містить тубус, освітлювальну лампу, патрон і об'єктив, а в свою чергу тубус складається із захисного скла, фотоприймача відбитого світлового потоку, дзеркала у вигляді кільця і світлової пастки, також всередині камери закріплене охолоджуване дзеркало; зверху на вимірювальну камеру закріплений блок порівняння електричних сигналів від фотоприймачів.

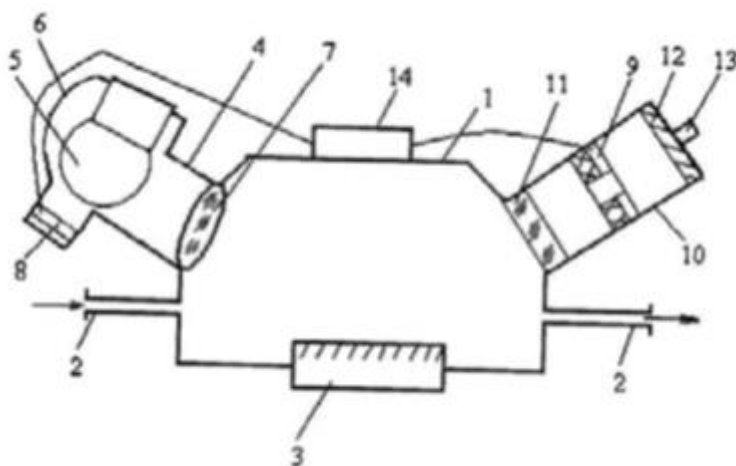


Рисунок 4 - конденсаційний гігрометр

Дана модель відноситься до оптичного аналітичного приладобудування і може бути використана для аналізу вологості газів при плазмовій обробці матеріалів. Даний фотоелектричний вологомір [18] містить послідовно

пов'язані джерело випромінювання, оптичний комутатор вимірювального і опорного каналів із світлофільтрами, фотоприймач і реєстратор, до якого введено модулятор потоків випромінювання у вимірювальному та опорному каналах, а реєстратор змонтовано у вигляді послідовно ввімкнених перемикаючого приладу і вимірювача інтервалів часу, пов'язані за допомогою синхронізуючого входному оптичного комутатора. Значним мінусом даного приладу є низька завадостійкість і висока інерційність приладу, пов'язана із використанням тригера і вентиляного приладу. Найбільш близьким є конденсаційний гігрометр [19], який складається із вимірювальної камери з штуцерами для підводу і відводу газу, до якого закріплений вузол освітлювача, який містить тубус, освітлювальну лампу, патрон та об'єктив. До камери також приєднаний тубус, який містить захисне скло, фотоприймач відбитого світла, дзеркало у вигляді кільця і світлову пастку. В середині камери закріплене охолоджуване дзеркало. Значним недоліком даного приладу є низька чутливість вимірювання, пов'язана із втратою деякої частки випромінювання в світловій пастці, через що падає амплітуда сигналу фотоприймача. За основу моделі взято задачу створення конденсаційного гігрометра, в якому внаслідок перетворення приладу за двоканальною схемою і введення електронної схеми порівняння сигналів фотоприймачів, досягається максимальна чутливість і точність вимірювання вологи в аналізованому газі. Поставлена задача досягається тим, що в конденсаційному газовому аналізаторі, який складається з вимірювальної камери з штуцерами для підведення і відведення газу, до якої прикріплений вузол освітлювача, який містить тубус, освітлювальну лампу, патрон та об'єктив і тубус, який складається із захисного скла, фотоприймача відбитого світлового потоку, дзеркала у вигляді кільця і світлової пастки, всередині камери закріплено охолоджуване дзеркало; внаслідок чого тубус вузла освітлювача має розгалуження, до внутрішніх стінок якого закріплений інший фотоприймач, зверху на вимірювальну камеру закріплений блок

порівняння електричних сигналів від фотоприймачів. На Рис.4 представлений конденсаційний гігрометр;

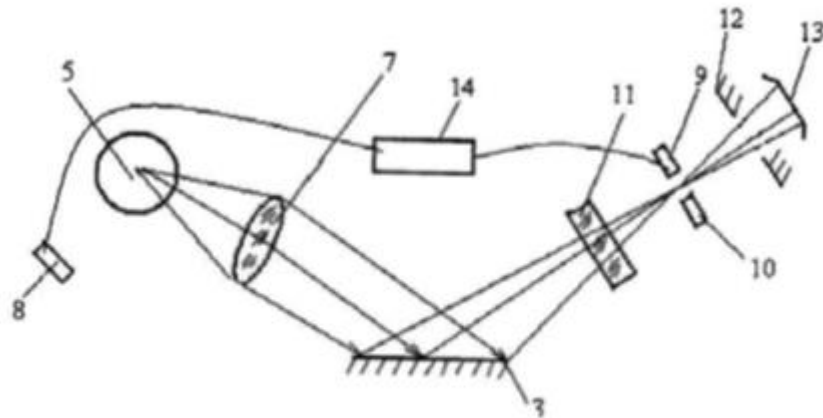


Рисунок 5 - оптична схема конденсаційного гігрометра

на Рис.5 - оптична схема конденсаційного гігрометра при відсутності конденсату на охолоджуваному дзеркалі; на Рис.6 - схема роботи конденсаційного гігрометра при випаданні конденсату на поверхню охолоджуваного дзеркала. На Рис.4 представлено схему конденсаційного гігрометра, який має вимірювальну камеру 1 з штуцером 2 для підведення і відведення газу, на якому розташовано блок порівняння електричних сигналів 14 від фотоприймача 8, який міститься в тубусі 4 вузла освітлювача і має таку ж марку, що і фотоприймач відбитого світлового потоку, і фотоприймач відбитого світлового потоку 9, всередині вимірювальної камери 1 розміщується охолоджуване дзеркало 3, вузол освітлювача, який складається з тубуса 4, освітлювальної лампи 5, патрона 6 і об'єктива 7. До вимірювальної камери 1 також приєднаний тубус 10, що містить захисне скло 11, фотоприймач відбитого світлового потоку 9, дзеркало у вигляді кільця 12 і світлову пастку 13. Прилад працює за наступною схемою. Газ подається під надлишковим тиском у вимірювальну камеру 1. До часу випадіння конденсату (Рис.5) на охолоджуваному дзеркалі 3, світловий потік, що формується освітлювальною лампою 5 і об'єктивом 7, відбиваючись від поверхні охолоджуваного дзеркала 3, проходить через отвір фотоприймача 9

потрапляючи у світлову пастку 13. У результаті того, що світлова пастка 13 має ламану поверхню, в ній відбувається повне гасіння світлового потоку. Випромінювання при цьому не потрапляє на фотоприймач. При випаданні конденсату на поверхню охолодженого дзеркала 3 змінюються умови відбиття випромінювання (Рис.6). Світловий потік частково перекриває дзеркало 12 і потрапляє на фотоприймач відбитого світлового потоку 9. Електричні сигнали від фотоприймача 8, що міститься в тубусі 4 вузла освітлювача, і фотоприймача відбитого світлового потоку 9 порівнюються у блоці порівняння електричних сигналів від фотоприймачів 14. Різне зменшення різниці цих сигналів показує момент випадіння конденсату на поверхні охолодженого дзеркала 3.

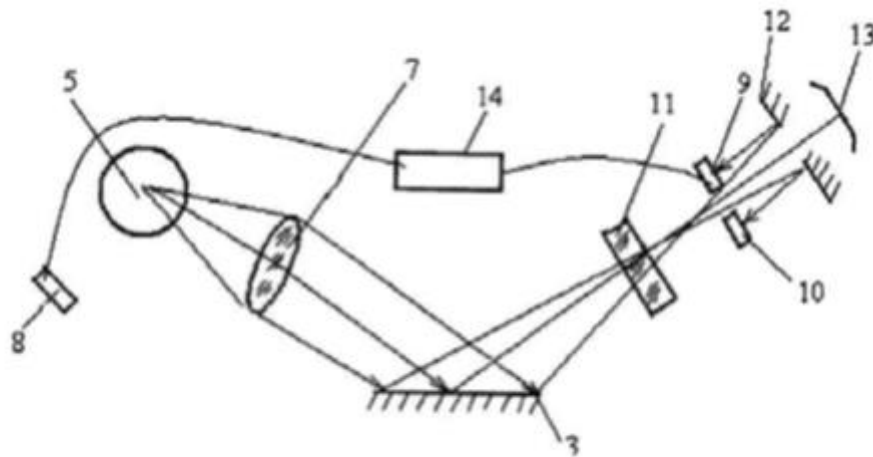


Рисунок 6 - схема роботи конденсаційного газового аналізатору при випадінні конденсату на поверхню охолодженого дзеркала.

## 1.6. Оцінювання комерційного потенціалу розробки



Оцінювання комерційного потенціалу здійснювалось на основі опитування трьох фахівців-викладачів кафедри в т.ч. наукового керівника. На основі опитування і будується оцінка і проводиться технологічний аудит.

Комерційний потенціал розробки оцінюється за 12 критеріями та оцінюється за 5 бальною шкалою. До даних критеріїв входять 4 групи критеріїв, а саме: технічна здійсненність концепції, ринкові переваги та недоліки, ринкові перспективи, практична здійсненність.

Таблиця 1.1 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Білинський Й.Й. Д.т.н., проф.	Селецька О.О. к.т.н., доц.	Мартинюк В.В. к.т.н., доц.
1.	4	3	4
2.	1	0	3
3.	3	4	3
4.	4	3	2
5.	4	4	4
6.	3	3	2
7.	2	3	1
8.	2	4	3
9.	4	2	2
10.	2	2	4
11.	3	2	2
12.	1	2	2
Сума балів	СБ <sub>1</sub>	СБ <sub>2</sub>	СБ <sub>3</sub>
	33	32	32

$$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3}$$

$$\overline{СБ} = \frac{33 + 32 + 32}{3} = 32$$

Отже, на основі проведеного експертного опитування середньо арифметична сума балів становила 32, що становить вище середнього. Може зробити висновок, що розробка є дуже актуальною. Має широкий спектр застосування.

Отже, розроблений пристрій може бути впроваджена на абсолютно будь-яких підприємствах і організаціях, зацікавлених у підвищенні безпеки будь-якого приміщення. Потенційними споживачами даного дослідження можуть бути як фізичні, юридичні особи, так і комерційні організації різних розмірів, які потребують безпеки своїх об'єктів.

### **1.7. Оцінювання рівня конкурентоспроможності розробки**

Конкурентоспроможність товару — це здатність продукції бути привабливішою для покупця в порівнянні з іншими виробами аналогічного виду й призначення, завдяки кращій відповідності її якісних і вартісних характеристик вимогам ринку й споживчим оцінкам. Водночас конкурентоспроможною можна вважати лише однорідну продукцію з технічними параметрами і техніко-економічними показниками, що ідентичні аналогічним показникам уже проданого товару. Детальний аналіз конкуруючих розробок, існуючих на ринку, необхідно проводити систематично, оскільки ринки перебувають в постійному русі.

З цією метою може бути використана вся наявна інформація про конкурентних розробках:

- технічні характеристики розробки;
- конкурентоспроможність розробки;
- рівень завершеності наукового дослідження (наявність макета, прототипу і т.п.);
- бюджет розробки;

- рівень проникнення на ринок;
- фінансове становище конкурентів, тенденції його зміни і т.д.

Аналіз конкурентних технічних рішень з позиції ресурсоефективності та ресурсозбереження дозволяє провести оцінку порівняльної ефективності наукової розробки і визначити напрямки для її майбутнього підвищення.

В таблиці представлені нормативні та технічні параметри. До групи технічних параметрів, що їх використовують для оцінювання конкурентоспроможності, зазвичай вносять показники призначення та надійності, а також ергономічні та естетичні показники.

Нормативні параметри характеризують властивості товару, регламентовані обов'язковими нормами, стандартами і законодавством ринків майбутнього продажу.

Крім того, задовольняючи потреби, покупець витрачає свої гроші як на придбання товару, так і на його використання. Розмір цих витрат формує ціну придбання та вартість споживання товару.

Таблиця 1.2 – Нормативні, технічні та економічні параметри інноваційного рішення та товару-аналогу

№	Показник	Базовий товар (товар- конкурент)	Новий товар (інноваційне рішення)
Нормативно-технічні показники			
1.	Робоча температура, С	39	40
2.	Відносна вологість,%	19	21
3.	Похибка вимірювання відносної вологості,%	2	3
Економічні показники			
1	Вартість, грн	3400	3350

До наведених в таблиці показники конкурентоспроможність визначають також наступні показники: спрощена схема виконання та виробництва; нижча собівартість за рахунок використання дешевших

комплектуючих; краща якість; нижчі витрати на транспортування пристрою чи деталей; спрощена установка та ремонт; експлуатація та технічне обслуговування, навчання персоналу; довший термін експлуатації; ергономічні та органолептичні показники.

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (Кінт) з урахуванням вищезазначених груп показників визначається за формулою (1.2):

$$K_{\text{інт}} = \frac{I_{\text{ТП}}}{I_{\text{ЕП}}} \quad (1.1.)$$

де ІНП – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними

параметрами;

ІТП – індекс технічних параметрів (відносний рівень якості інноваційного рішення);

ІЕП – індекс економічних параметрів.

Індекс економічних параметрів визначається за формулою:

$$I_{\text{ЕП}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{Неі}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{Беі}}}, \quad (1.3.)$$

де  $P_{\text{Неі}}$ ,  $P_{\text{Беі}}$  – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

Розрахунок одиничних параметричних показників конкурентоспроможності для окремого показника визначається за наступною формулою:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{\text{базі}}} \quad (1.2.)$$

- за технічними показниками:

$$q_1 = \frac{40}{39} = 1,02$$

$$q_2 = \frac{21}{19} = 1,1$$

$$q_3 = \frac{3}{2} = 1,5$$

- за економічними показниками:

$$q_1 = \frac{3350}{3400} = 0,98$$

Далі розрахуємо групові параметри індексів конкурентоспроможності:

за технічними характеристиками:

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i * \alpha_i \quad (1.4.)$$

де  $I_{ТП}$  – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом аналогом);

$q_i$  – одиничний параметричний індекс  $i$  – го параметра;

$\alpha_i$  – вагомість  $i$  – го параметричного індексу,  $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$ :

$n$  – кількість технічних параметрів, за яким оцінюється конкурентоспроможність.

$$I_{ТП} = (1,02 + 1,1 + 1,5) * 1 = 3,62$$

$$K_{інт} = 3,62 / 1 = 3,62$$

Загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами приймаємо рівним 1, якщо інноваційне рішення відповідає встановленим нормам, стандартам і вимогам; якщо не відповідає, приймаємо значення параметра як 0.

Якщо  $K_{інт} > 1$ , то інноваційне рішення вважається більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент, обраний за базу для порівняння; якщо  $K_{інт} < 1$ , то рівень конкурентоспроможності інноваційного рішення є нижчим, ніж у товару-конкурента; якщо  $K_{інт} = 1$ , то ця ситуація

інтерпретується як тотожність рівнів конкурентоспроможності обох товарів. Безумовно, мета виробника – отримати  $K_{\text{інт}} > 1$ , цілеспрямовано, збільшуючи ІТП та зменшуючи ІЕП.

Оскільки,  $K_{\text{інт}} > 1$ , то розроблений варіант більш конкурентоспроможним, ніж товар-конкурент.

Було розроблено двоканальний вимірювач вологості природного газу. Особливістю розробленого приладу в тому, що двоканальний аналізатор вологості газу, підвищення чутливості та точності якого забезпечується шляхом використання логарифмічного підсилювача і оберненого зв'язку. Близьким аналогом є двоканальний вимірювач вологості природного газу ТОРОС-3. Основна функція, яку виконує аналог це вимірювання і контроль вологості газових середовищ. Призначення: контроль вмісту вологи до і після технологічної переробки газу, контроль вологості транспортується по магістральних і розподільних газопроводів природного і інших газів.

## **1.8 Висновки**

Сучасні гігromетри поділяють на досить багато видів за методами вимірювання на яких базується їх принцип роботи, в кожного детектора вологи є свої переваги та недоліки.

2. Було проведено короткий огляд найпопулярніших гігromетрів. В наступних розділах буде розглядатися лише двоканальний вимірювач вологості природного газу.

## **2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ, МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ ДВОКАНАЛЬНОГО ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ ГАЗУ**

Природний газ – це газова суміш, компонентами якої, крім суміші вуглеводнів ( $C_nH_{2n+2}$ ) та водяної пари, може бути азот, двоокис вуглецю, сірководень, кисень, водень, аргон, гелій тощо. Це означає, що густина суміші газу й відповідно молярна маса його за стандартних умов можуть змінюватися. Тому необхідно виконувати додаткові вимірювання. Такі вимірювання можна проводити як прямими методами (вимірювання густини в реальному часі), так і непрямыми, опосередкованими (шляхом визначення густини як функції тиску й температури). Усе це ускладнює процес вимірювального контролю відносної вологості [18 – 20].

Для усунення вищенаведених недоліків у роботі запропоновано удосконалення двоканального інфрачервоного методу контролю вологості природного газу шляхом використання двочастотної схеми, тобто використання таких довжин хвиль, які мають найбільш та найменш виражені поглинальні властивості щодо водяної пари. При цьому враховувати значення поглинання, яке вносить на даних частотах і природній газ. Значення вологості газу отримують беручи за основу співвідношення показників поглинання природного сухого газу та водяної пари при проходженні світлових потоків через газове середовище, що налаштовані на встановлені довжини хвиль та завдяки їхнім чудовим поглинаючим властивостям.

Для реалізація запропонованого методу на рис. 2.1 наведено структурну схему двоканального вимірювального перетворювача вологості. Сенсор складається з корпусу (1), оптичних схем введення випромінювання вимірювального та опорного каналів (2), (7); світлодіодів (3) і (6), які

налаштовані на відповідні частоти; оптичних схем виведення випромінювання вимірювального та опорного каналів (4), (9) і фотоприймачів (5), (8) [20, 21]. Таким чином така структура вимірювального перетворювача має два рівноцінних канали: перший – вимірювальний, налаштований на робочу довжину хвилі ( $\nu_1$ ); другий – на опорну ( $\nu_2$ ).

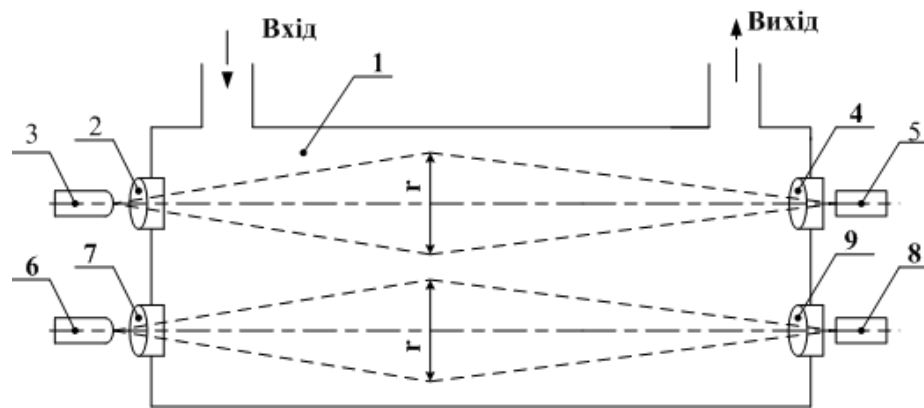


Рисунок 2.1 – Оптична схема двоканального вимірювального перетворювача вологості газу

Корпус вимірювального перетворювача виготовлений у вигляді труби, діаметр якої зумовлений габаритними розмірами оптичної системи, що забезпечує оптимальні параметри світлового потоку.

Використання такого підходу забезпечує зменшення кількості контрольованих параметрів (тиск вологого газу, молярну масу сухого газу), а з урахуванням поглинання як водяною парою, так і природним газом світлових потоків дозволяє дає підвищити вираженість контролю.

## 2.1 Математична модель двоканального вимірювального перетворювача вологості природного газу

Відносну вологість газу з урахуванням стандартних умов тиску  $p_{(c)}$  й температури  $T_{(c)}$ , а також робочих умов тиску  $p$  й температури можна визначати за формулою (2.1).



Вихідна інтенсивність вимірювального каналу згідно з [24] визначається з формули :

$$I(v_2) = I_0(v_2) e^{-d \left( K(v_2) C_{\hat{a}.i.} + K(v_2) C_{c.\hat{a}.} \right)} = I_0(v_2) e^{-d \left( K(v_2) \frac{\rho_{\hat{a}.i.}}{\mu_{\hat{a}.i.}} + K(v_2) \frac{\rho_{c.\hat{a}.}}{\mu_{\hat{n}.\hat{a}.}} \right)}, \quad (2.1)$$

де  $K(v_2)$  і  $K(v_2)$  – питомі молярні показники поглинання природного сухого газу та водяної пари опорного каналу відповідно.

Таким чином на основі запропонованого методу відносна вологість реального природного газу з урахуванням чинника стисливості  $Z$  визначається за формулою [24]

$$\varphi = \frac{\mu_{\hat{a}.i.} p_c T Z_{\hat{a}.i.} \cdot \left( K(v_1) \ln \frac{I(v_2)}{I_0(v_2)} - K(v_2) \ln \frac{I(v_1)}{I_0(v_1)} \right)}{dT_c p_{\hat{a}.i.(\max)} \left( K(v_1) K(v_2) - K(v_1) K(v_2) \right) \rho_{\hat{a}.i.(\bar{n})}}. \quad (2.2)$$

Формула перетворення (2.2) дозволяє визначити відносну вологість газу без урахування густини суміші природних газів, його молярної маси, тиску, що суттєво спрощує процес вимірювання й дає змогу підвищити точність вимірювання

Для вибору габаритних розмірів сенсора, а також параметрів оптронної системи, які забезпечували б необхідну чутливість і точність вимірювання вологості газу, необхідно в лабораторних умовах провести експериментальні дослідження

На підставі отриманої формули перетворення (2.2) і тривимірної залежності (рис. 2.2) можна зробити висновок про підвищення чутливості в 3 – 3,5 рази при використанні схемного вирішення, запропонованого в роботі, в порівнянні з газовим вимірювальним перетворювачем, який має аналогічні параметри, описаного в [21, 22].

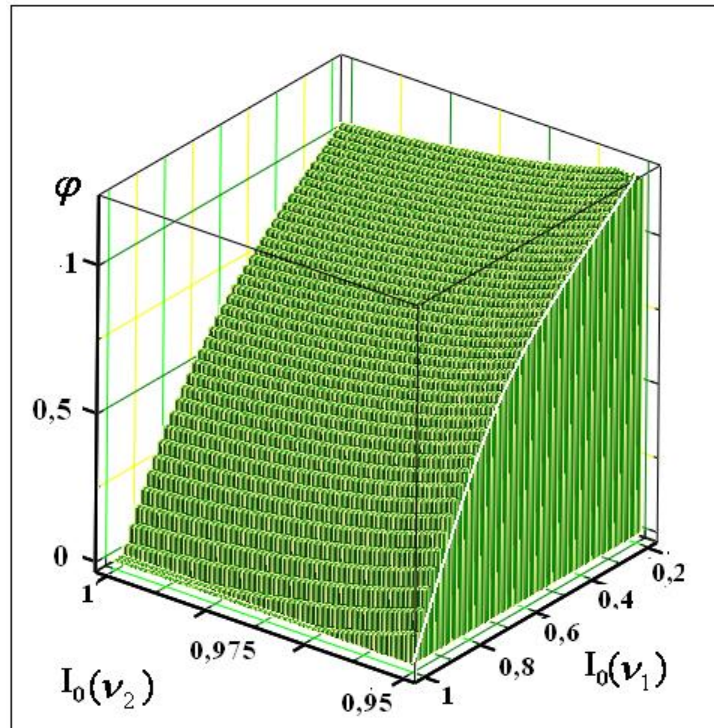


Рисунок 2.2 – Тривимірна залежність відносної вологості від вихідних інтенсивностей на відповідних довжинах хвиль [Додаток Б]

Максимальне відхилення розрахованих значень відносної вологості від значень на основі залежностей із (2.1, 2.22) не перевищує 2 %. Це дає змогу зменшити похибку вимірювань в 2-2,5 рази.

## Висновки

У другому розділі дипломної роботи розроблено теоретичні основи вимірювального перетворення параметрів вологості газу на основі методу інфрачервоного методу.

1. Проведено аналіз взаємодії випромінювання з вологим газом. Запропоновано модель перенесення випромінювання в середовищі вологого газу, яка адекватно описує фізичні процеси затухання випромінювання у вологому газі й на відміну від відомих вологих газ в загальному випадку представляється як сума густин сухої частини і водяної пари при відповідних парціальних тисках і температурі з урахуванням питомих молярних показників поглинання природного сухого газу та водяної пари.

2. Отримав подальший розвиток двочастотний інфрачервоний метод контролю вологості природного газу та розроблено двоканальну структурну схему для його здійснення, який на відміну від відомих, відрізняється тим, що значення вологості газу отримують на основі співвідношення показників поглинання природного сухого газу та водяної пари в результаті проходження світлових потоків через газове середовище, які налаштовані на встановлені довжини хвиль та завдяки їх відмінним поглинаючим властивостям.

3. Розроблено математичну модель двоканального вимірювального перетворювача вологості природного газу, яка на відміну від відомих дає змогу не враховувати тиск і молярну масу газу, що приводить до зменшення кількості контролюючих параметрів і забезпечує підвищення точності.

### 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АНАЛІЗАТОРА ВОЛОГОСТІ ГАЗУ

На основі запропонованої математичної моделі розроблено структурну схему аналізатора вологості природного газу, яка наведена на рис. 3.1., в Додатку Д наведено функціональну схему аналізатора.

В основу побудови схеми аналізатора вологості газів покладено принцип зворотного зв'язку, що охоплює обидва канали як вимірювальний, так і опорний, які працюють на різних довжинах хвиль оптичного випромінювання. У вимірювальному каналі використовується світловий потік, довжина хвилі якого чутлива до водяної пари (вимірювальну). В опорному каналі використовується випромінювання, довжина хвилі (опорна) якого практично не змінює інтенсивність світлового потоку в результаті зміни вологості. Таким чином, схема аналізатора є двоканальною: складається з опорного і вимірювального каналів, кожний з яких налаштований на певну довжину хвилі [25, 26].

Схема аналізатора вологості містить Д1 і Д2 лазерні світлодіоди, налаштовані на вимірювану і опорну довжини хвиль, відповідно; ФП1 і ФП2 – фотоприймачі, П1 і П2 – попередні підсилювачі вимірювального і опорного каналів; К1 і К2 – комутатори вимірювального і опорного каналів; Г1 і Г2 – керовані генератори вимірювального і опорного каналів; ПП1 і ПП2 – підсилювачі потужності вимірювального і опорного каналів; МП – мікропроцесор; І – індикаторний пристрій; СТ – сенсор температури.

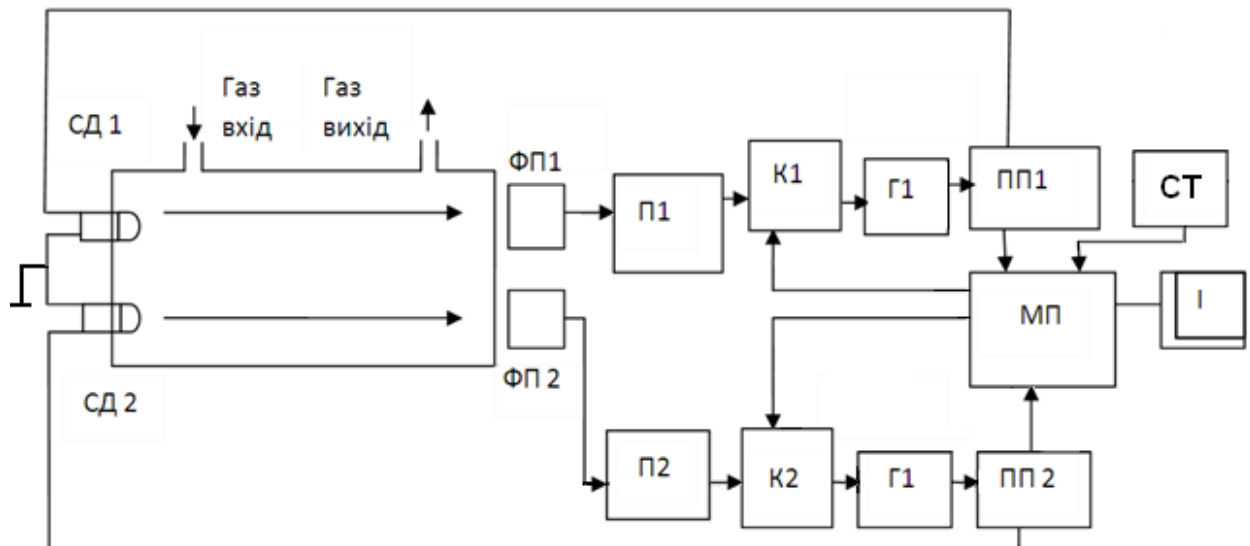


Рисунок 3.1 – Структурна схема аналізатора вологості природного газу

Аналізатор вологості працює наступним чином. Лазерний світлодіод Д1 випромінює інфрачервоне світло на вимірювальній довжині хвилі, яке проходить через вимірювальне середовище (природний газ) і прямує на фотоприймач ФП1 вимірювального каналу. Фотоприймач ФП1 перетворює світловий потік, який падає на нього, в електричний сигнал, що підсилюється попереднім підсилювачем П1 та за допомогою комутатора К1, потрапляє на керований генератор Г1. На виході генератора формується імпульсно-частотний сигнал, частота якого змінюється в залежності від величини електричного сигналу. Імпульсно-частотний сигнал потрапляє в підсилювач потужності ПП1, підсилюється в струмовий електричний сигнал і надходить на лазерний світлодіод Д1. Далі значення електричного сигналу від підсилювача потужності ПП1 потрапляє на мікропроцесор МП, де запам'ятовується. Вимірювальний канал охоплений глибоким від'ємним зворотним зв'язком, світловий потік F1, що випромінюється лазерним світлодіодом Д1, проходить через вимірювальне середовище і потрапляє на фотоприймач ФП1, підтримується постійним. Мікропроцесор МП переключає канали вимірювального та опорного каналів за допомогою комутаторів К1 і К2 циклічно.

Електричний сигнал від підсилювача потужності ПП1 потрапляє на мікропроцесор МП, де запам'ятовується. Вимірювальний канал охоплений глибоким від'ємним зворотним зв'язком, світловий потік F1, що випромінюється лазерним світлодіодом Д1, проходить через вимірювальне середовище і потрапляє на фотоприймач ФП1, підтримується незмінним. Мікропроцесор МП перемикає канали вимірювального та опорного каналів за допомогою комутаторів К1 і К2 циклічно.

При ввімкненні комутатора К2 вступає в роботу опорний канал і виходить з роботи вимірювальний канал – комутатор К1 вимикається. Випромінюваний від світлодіода Д2 світловий потік проходить через вимірювальне середовище, ослаблюється внаслідок наявності в природному газі вологи і потрапляє на фотоприймач ФП2 опорного каналу. Фотоприймач ФП2 перетворює потік, що потрапляє на нього в електричний сигнал, який проходить такі ж перетворення, як і у вимірювальному каналі. Опорний канал охоплений глибоким від'ємним зворотним зв'язком, тому світловий потік, що потрапляє на фотоприймач ФП2, залишається постійним. При цьому електричний сигнал з підсилювача потужності ПП2 потрапляє на мікропроцесор МП і порівнюється з електричним сигналом від підсилювача потужності вимірювального каналу ПП1. Отриманий від порівняння сигнал обробляється за алгоритмом на основі математичної моделі (2.2) і результат обробки у вигляді значень відносної вологості або масової частки видається на індикаторний пристрій І.

### **3.1 Перетворення та обробка вимірювальної інформації. Виведення функції перетворення аналізатора вологості**

Коефіцієнт  $Y_1$  функціонального перетворення вимірювального каналу визначається за виразом [24, 25]:

$$Y_1 = K_{\hat{E}1} \cdot K_{\hat{N}\hat{D}1} \cdot K_{\hat{A}1} \cdot K_{Y1} \cdot K_{K1} \cdot K_{\hat{A}1} \cdot K_{\hat{I}1}, \quad (3.1)$$

коефіцієнт перетворення  $Y_2$  функціонального перетворення опорного каналу визначається за виразом:

$$Y_2 = K_{\hat{E}2} \cdot K_{\hat{N}\hat{D}2} \cdot K_{\hat{A}2} \cdot K_{Y2} \cdot K_{K2} \cdot K_{\hat{A}2} \cdot K_{\hat{I}2}, \quad (3.2)$$

де  $K_{\hat{E}1}$  і  $K_{\hat{E}2}$  – коефіцієнти перетворення світлодіодів вимірювального та опорного каналів, відповідно;

$K_{\hat{n}\hat{d}1}$  і  $K_{\hat{n}\hat{d}2}$  – коефіцієнти ослаблення світлового потоку при проходженні вимірювального середовища на вимірювальній та опорній довжинах хвиль відповідно;

$K_{\hat{a}1}$  і  $K_{\hat{a}2}$  – коефіцієнти перетворення світлових потоків в електричний сигнал на вимірювальній і опорній довжинах хвиль, відповідно;

$K_{\hat{o}1}$  і  $K_{\hat{o}2}$  – коефіцієнти перетворення попередніх підсилювачів вимірювального та опорного каналів, відповідно;

$K_{\hat{e}1}$  і  $K_{\hat{e}2}$  – коефіцієнти перетворення комутаторів вимірювального і опорного каналів, відповідно;

$K_{\hat{A}1}$  і  $K_{\hat{A}2}$  – коефіцієнти перетворення керованих генераторів вимірювального і опорного каналу відповідно;

$K_{\hat{I}1}$  і  $K_{\hat{I}2}$  – коефіцієнт перетворення підсилювачів потужності вимірювального і опорного каналів, відповідно.

Введемо позначення  $\hat{E}_{\hat{o}1} \cdot \hat{E}_{\hat{e}1} \cdot \hat{E}_{\hat{A}1} = \hat{E}_{n1}$  в формулі (3.1), а в формулі (3.2)  $\hat{E}_{\hat{o}2} \cdot \hat{E}_{\hat{e}2} \cdot \hat{E}_{\hat{A}2} = \hat{E}_{n2}$ .

Тоді

$$Y_1 = \hat{E}_{\hat{e}1} \cdot \hat{E}_{\hat{n}\hat{d}1} \cdot \hat{E}_{\hat{A}1} \cdot \hat{E}_{n1} \cdot \hat{E}_{\hat{I}1}, \quad (3.3)$$

$$Y_2 = \hat{E}_{\hat{e}2} \cdot \hat{E}_{\hat{n}\hat{d}2} \cdot \hat{E}_{\hat{A}2} \cdot \hat{E}_{n2} \cdot \hat{E}_{\hat{I}2}. \quad (3.4)$$

Розглянемо коефіцієнти перетворення вимірювального каналу з глибоким зворотним зв'язком.

Світловий потік  $I_0(\nu_1)$  від лазерного світлодіода ослаблюється внаслідок проходження через досліджуваний газ і у вигляді світового потоку  $I(\nu_1)$  потрапляє на фотоприймач ФП1. Цей зв'язок описується виразом [24, 26]

$$I(\nu_1) = I_0(\nu_1) \cdot K_{cp1} , \quad (3.5)$$

Де згідно з (2.1), і (2.2)

$$K_{cp1} = e^{-d \frac{T(\bar{n})}{P(\bar{n})TZ} \left( K^{\hat{A}, \hat{I}} \cdot \frac{\rho_c^{\hat{A}, \hat{I}} \varphi P_{a, \hat{I}, \max}}{\mu_{\hat{A}, \hat{I}}} + K^{\hat{N}, \hat{A}} \cdot \frac{\rho_c^{\hat{N}, \hat{A}} (P - \varphi P_{a, \hat{I}, \max})}{\mu_{\hat{N}, \hat{A}}} \right)} . \quad (3.6)$$

Світловий потік  $I(\nu_1)$  буде постійним тільки у випадку компенсації ослаблення світового потоку  $I_0(\nu_1)$  та збільшення густини водяної пари  $\rho_{\hat{A}, \hat{I}}$  при відомих значеннях молярних питомих показників поглинання природного сухого газу та водяної пари  $K^{\hat{N}, \hat{A}}$  та  $K^{\hat{A}, \hat{I}}$ , відповідно. Це означає, що світловий потік повинен змінюватись в зворотну сторону, обернену збуджуючому впливу  $\left( K^{\hat{A}, \hat{I}} \cdot \frac{\rho_{\hat{A}, \hat{I}}}{\mu_{\hat{A}, \hat{I}}} + K^{\hat{N}, \hat{A}} \cdot \frac{\rho_{\hat{N}, \hat{A}}}{\mu_{\hat{N}, \hat{A}}} \right)$ , оскільки  $e^{-d}$  – постійна величина.

Струм фотодіода ФП1 визначається за виразом

$$I_{\hat{A}1} = \hat{E}_{\hat{A}1} \cdot I(\nu_1) , \quad (3.7)$$

де  $\hat{E}_{\hat{A}1} = \tau_{\hat{m}} K_{\hat{I}\hat{I}}$  – коефіцієнт перетворення світового потоку фотодіода.

Вихідний сигнал фотодіода ФП1 підсилюється попереднім підсилювачем ПП1, електрична схем якого наведена на рис. 3.2. На попередньому підсилювачі відбувається порівняння вхідної напруги, що визначається через величину струму фотодіода ФП1 і  $U_{i1}$  опорної напруги. Опорна напруга виставляється як початкова (нульова) освітленість фотоприймача ФП1 [26, 27].



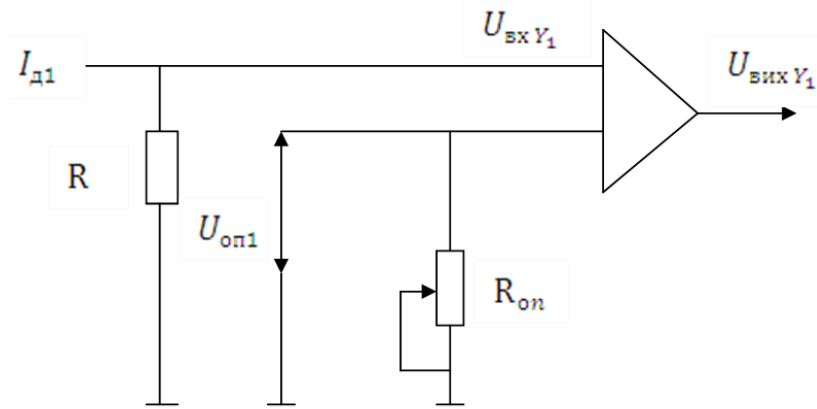


Рисунок 3.2 – Електрична схема попереднього підсилення

Згідно з рис. 3.2

$$U_{\text{аоо}1} = I_{\text{А}1} \cdot R, \quad (3.8)$$

$$U_{\text{аео}1} = (U_{\text{іі}1} - U_{\text{аоо}1}) \cdot \hat{E}_{\text{о}1}. \quad (3.9)$$

В мікропроцесорі порівнюються величини електричних сигналів з підсилювачів потужності ПП1 – вимірювального та ПП2 – опорного каналів.

Вихідна напруга  $U_{\text{аео}1}$  підсилювача потужності ПП1 дорівнює добутку вхідної напруги  $U_{\text{ао}1}$  на коефіцієнт перетворення цього підсилювача  $K_{\text{М}1}$

$$U_{\text{аео}1} = U_{\text{ао}1} \cdot \hat{E}_{11}. \quad (3.10)$$

Оскільки  $U_{\text{ао}1} = U_{\text{аео}1} \cdot \hat{E}_{\text{о}1} \cdot \hat{E}_{\text{А}1}$ , то вихідна напруга підсилювача потужності визначається

$$U_{\text{аео}1} = (U_{\text{іі}1} - I_{\text{А}1} \cdot \hat{E}_R) \cdot K_{\text{y}1} \cdot K_{\text{k}1} \cdot K_{\text{А}1}, \quad (3.11)$$

де  $\hat{E}_R$  – коефіцієнт перетворення резистора  $R$  див. рис. 3.2.

Підставимо в (3.11) замість  $I_{\text{А}}$  значення з (3.7)

$$U_{\text{аео}1} = (U_{\text{іі}1} - I_0(v_1) \cdot \hat{E}_{\text{А}1} \cdot \hat{E}_R) \cdot K_n.$$

Та з урахуванням (3.6) отримаємо

$$U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1} = (U_{\hat{i}\hat{r}1} - I_0(v_1) \cdot \hat{E}_{cp} \cdot \hat{E}_{\hat{A}1} \cdot \hat{E}_R) \cdot K_n. \quad (3.12)$$

Світловий потік, випромінюваний лазерним світлодіодом, прямо пропорційно залежить від напруги, яка потрапляє на нього

$$I_0(v_1) = U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1} \cdot \hat{E}_{\hat{e}1}. \quad (3.13)$$

З іншої сторони

$$U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1} = (U_{\hat{i}\hat{r}1} - I_0(v_1) \cdot \hat{E}_{\hat{n}\hat{o}} \cdot \hat{E}_{\hat{A}1} \cdot \hat{E}_{R1}) \cdot K_{n1} \cdot K_{\hat{e}1}. \quad (3.14)$$

Величина світлового потоку світлодіода згідно з (3.14) визначається так:

$$I_0(v_1) = \frac{U_{\hat{i}\hat{r}1} \cdot \hat{E}_{\hat{i}1} \cdot \hat{E}_{\hat{e}1}}{1 + \hat{E}_{\hat{n}\hat{o}} \cdot \hat{E}_{\hat{A}1} \cdot \hat{E}_{R1} \cdot K_{n1} \cdot \hat{E}_{\hat{e}1}}. \quad (3.15)$$

Оскільки коефіцієнт підсилення  $\hat{E}_{n1}$  значно перевищує одиницю, то ним можна знехтувати. Тоді (3.15) набуде вигляду:

$$I_0(v_1) = \frac{U_{\hat{i}\hat{r}1}}{\hat{E}_{\hat{n}\hat{o}} \cdot \hat{E}_{\hat{A}1} \cdot \hat{E}_{R1}}. \quad (3.16)$$

Підставивши значення  $U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1}$ , отримаємо:

$$U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1} = \frac{U_{\hat{i}\hat{r}1} \cdot \hat{E}_{\hat{e}1}}{\hat{E}_{\hat{n}\hat{o}} \cdot \hat{E}_{\hat{A}1} \cdot \hat{E}_{R1}}.$$

Тоді з урахуванням (3.6) вираз (3.16) запишемо у вигляді

$$U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1} = \frac{U_{\hat{i}\hat{r}1} \cdot \hat{E}_{\hat{e}1}}{e^{-d \frac{T_{(\hat{n})}}{P_{(\hat{n})} T} \left( K_{(\hat{v}1)}^{\hat{A}, I} \cdot \frac{\rho_c^{\hat{A}, I} \varphi P_{\hat{a}, I, \max}}{Z_{\hat{A}, I} \mu_{\hat{A}, I}} + K_{(\hat{v}1)}^{\hat{N}, \hat{A}} \cdot \frac{\rho_c^{\hat{N}, \hat{A}} (P - \varphi P_{\hat{a}, I, \max})}{Z_{C, \hat{A}} \mu_{\hat{N}, \hat{A}}} \right)} \cdot \hat{E}_{\hat{A}1} \cdot \hat{E}_{R1}}. \quad (3.17)$$

Позначивши  $\frac{\hat{E}_{\hat{e}1}}{\hat{E}_{\hat{A}1} \cdot \hat{E}_{R1}} = K_1$ , отримаємо вираз

$$\frac{U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1}}{U_{i\bar{i}1}} = \frac{K_1}{e^{-d \frac{T(\bar{n})}{P(\bar{n})TZ} \left( K_{(v1)}^{\hat{A},\bar{i}} \cdot \frac{\rho_c^{\hat{A},\bar{i}} \varphi P_{\hat{a},\bar{i}.max}}{Z_{\hat{A},\bar{i}} \mu_{\hat{A},\bar{i}}} + K_{(v1)}^{\bar{N},\hat{A}} \cdot \frac{\rho_{(c)}^{\bar{N},\hat{A}} (P - \varphi P_{\hat{a},\bar{i}.max})}{Z_{C,\hat{A}} \mu_{\bar{N},\hat{A}}} \right)}}. \quad (3.18)$$

Оскільки в аналізаторі закладений амплітудно-частотний принци перетворення світлового сигналу, що проходить через контрольоване газове середовище, то зміна вихідної напруги  $U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1}$  пропорційна частоті імпульсної світлової послілки встановленої довжини хвилі джерела випромінювання  $f_1$ .

Зв'язок опорної  $F_0$  та вимірювальної частоти світлової послілки  $f_1$  описується виразом

$$\frac{U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{l}1}}{f_1} = \frac{U_{i\bar{i}1}}{F_{01}}. \quad (3.19)$$

Тоді для вимірювального каналу частото визначається

$$f_1 = \frac{F_{i\bar{i}1}}{K_1} e^{-d \frac{T(\bar{n})}{P(\bar{n})TZ} \left( K_{(v1)}^{\hat{A},\bar{i}} \cdot \frac{\rho_c^{\hat{A},\bar{i}} \varphi P_{\hat{a},\bar{i}.max}}{Z_{\hat{A},\bar{i}} \mu_{\hat{A},\bar{i}}} + K_{(v1)}^{\bar{N},\hat{A}} \cdot \frac{\rho_{(c)}^{\bar{N},\hat{A}} (P - \varphi P_{\hat{a},\bar{i}.max})}{Z_{C,\hat{A}} \mu_{\bar{N},\hat{A}}} \right)}. \quad (3.20)$$

В силу ідентичності опорного і вимірювального каналів для опорного каналу формула перетворення має вигляд

$$f_2 = \frac{F_{i\bar{i}2}}{K_2} e^{-d \frac{T(\bar{n})}{P(\bar{n})TZ} \left( K_{(v1)}^{\hat{A},\bar{i}} \cdot \frac{\rho_c^{\hat{A},\bar{i}} \varphi P_{\hat{a},\bar{i}.max}}{Z_{\hat{A},\bar{i}} \mu_{\hat{A},\bar{i}}} + K_{(v1)}^{\bar{N},\hat{A}} \cdot \frac{\rho_{(c)}^{\bar{N},\hat{A}} (P - \varphi P_{\hat{a},\bar{i}.max})}{Z_{C,\hat{A}} \mu_{\bar{N},\hat{A}}} \right)}. \quad (3.21)$$

Відносна вологість природного газу на підставі (3.20) та (3.21) визначається [23-24,27] так:

$$\varphi = \frac{\mu_{\hat{a},\bar{i}} \rho_c TZ_{\hat{A},\bar{i}} \cdot \left( K(v_2)^{\bar{n},\hat{a}} \ln \frac{f_1 K_1}{F_{o1}} - K(v_1)^{\bar{n},\hat{a}} \ln \frac{f_{2i2} K_2}{F_{o2}} \right)}{dT_c P_{\hat{a},\bar{i}.max} \left( K(v_1)^{\hat{a},\bar{i}} K(v_2)^{\bar{n},\hat{a}} - K(v_1)^{\bar{n},\hat{a}} K(v_2)^{\hat{a},\bar{i}} \right) \rho_{\hat{a},\bar{i}.(\bar{n})}}. \quad (3.22)$$

Отримані значення показників поглинання, які описані в розділі 2 дали змогу розрахувати залежність відносної вологості від частоти (формула 3.22),

графік якої показано на рис. 3.3 для декількох значень тиску й температури вологого газу (Додаток Е).

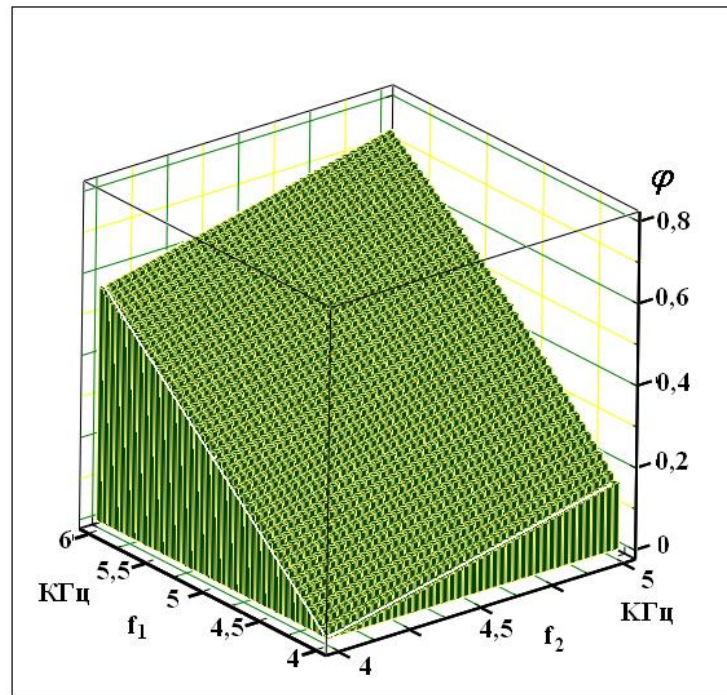


Рисунок 3.3 – Характеристика аналізатора відносної вологості газу [Додаток Б]

При цьому розраховане значення коефіцієнта пропускання концентрації водяної пари визначалося як добуток  $T^{\hat{A}.I}(\nu) \cdot \hat{O}^{\hat{N}.\hat{A}}(\nu)$ .

Молярні питомі показники поглинання на довжині хвилі 1,45 мкм для водяної пари та уайт-спіриту були використані як і в розділі 2.

Отримане рівняння (3.22) дає змогу обчислити відносну вологість газу в діапазоні – 70...0 °С. Найбільше відхилення розрахованих значень відносної вологості від значень, розрахованих за допомогою залежностей із [15, 19] не перевищує 4 %. Таким чином ця модель була покладена в основу розробки аналізатора вологості природного газу.

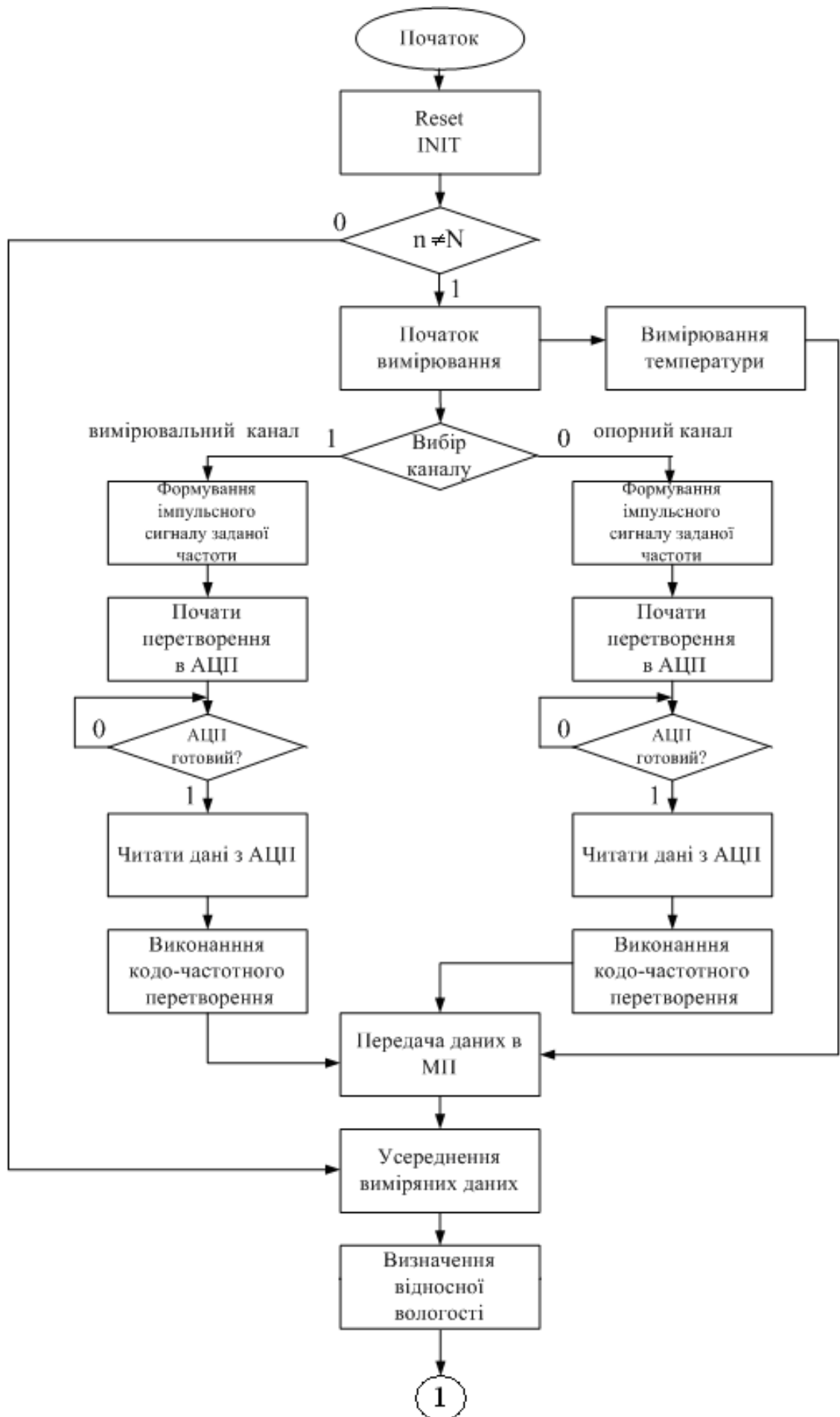
### 3.2 Апаратна реалізація аналізатора вологості природного газу

При розробці газового аналізатора основну увагу необхідно звернути на алгоритм вимірювального контролю вологості, електричну схему та конструкцію аналізатора, а також на елементну базу.

**3.2.1 Алгоритм контролю вологості.** Опис роботи аналізатора вологості газу можна проілюструвати алгоритмом, наведеним на рис. 3.4.

Перед стартом кожного наступного вимірювального контролю відбувається перевірка: чи виконані всі із заданих  $N$  вимірювань. Після виконання заданої кількості вимірювань проводиться їх зведення до середнього арифметичного. При цьому придатним значенням відносної вологості  $\varphi_x$  за стандартних умов повинно бути меншим за 0,1 (згідно до технічних вимог Правил РД 50-213-80, що відповідає точці роси  $-58,21$  °С при нормальних умовах [24]).

Гігрометр може працювати в автономному режимі без під'єднання до ПК, виводячи дані на індикаторний пристрій. Для цього використовуються мікроконтролер, який здійснює первинну обробку вимірювальної інформації, керує роботою АЦП і передачею даних на ПК, та статичний ОЗП, в якому вимірювальна інформація накопичується і зберігається.



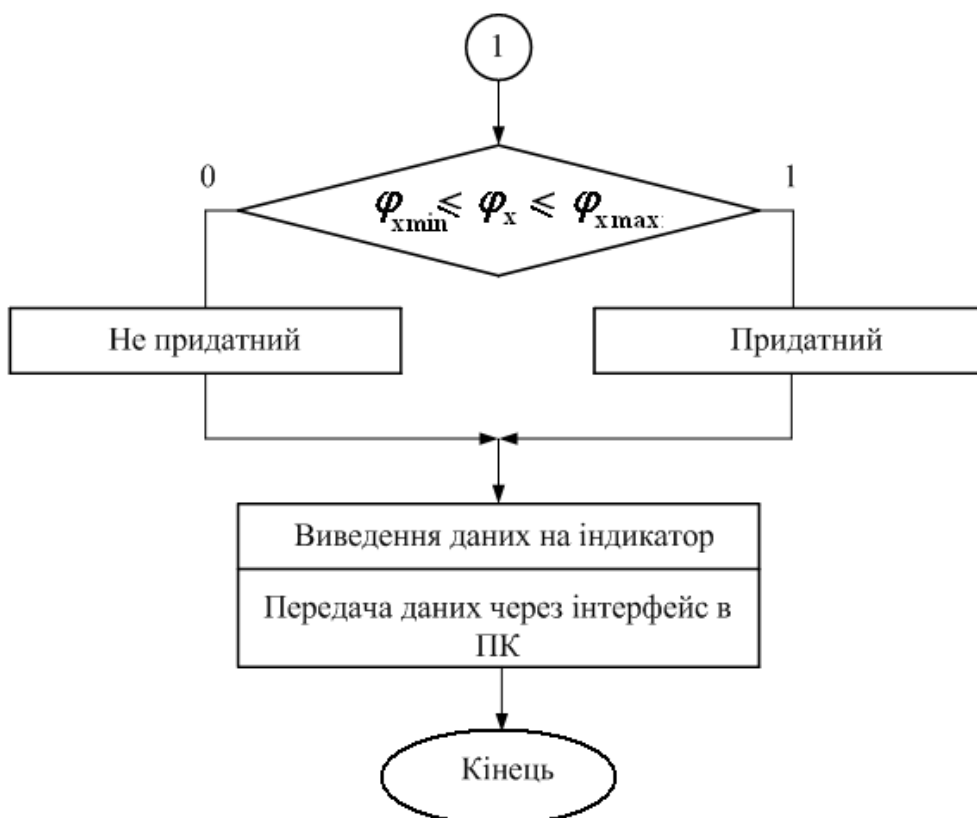


Рисунок 3.4 – Алгоритм вимірювального контролю вологості газу

Алгоритм роботи мікроконтролера наведено на рис. 3.5.

Послідовність операцій, виконуваних мікроконтролером, залежить від присутності ПК. Після ініціалізації програмне забезпечення мікроконтролера перевіряє наявність з'єднання з ПК по USB інтерфейсу. За командою від програми верхнього рівня мікроконтролер починає вимірювання і передачу контрольовано-вимірювальної інформації в ПК. Якщо з'єднання з ПК відсутнє, то програмне забезпечення мікроконтролера зберігає виміряні дані в ОЗП. За командою програми верхнього рівня можна також зчитати вимірювальну інформацію, що була збережена в ОЗП раніше. При цьому кількість контрольних значень вологості буде записуватися до повного заповнення пам'яті.

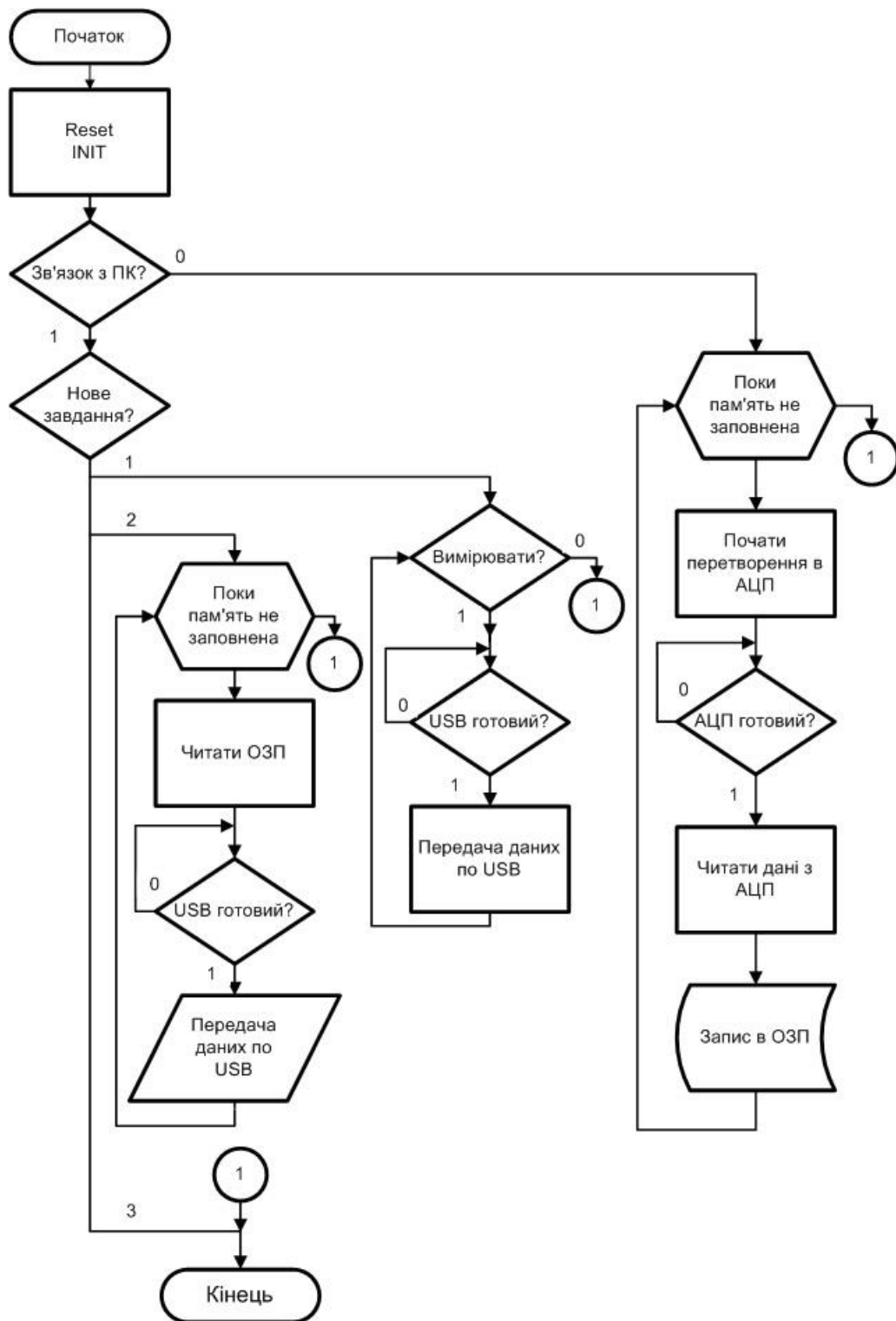


Рисунок 3.5 – Алгоритм роботи мікроконтролера



### 3.2.2 Розробка електричної схеми та конструкції аналізатора.

Аналізатор вологості природного газу АВПГ - 1 складається з сенсора та вторинного перетворювача.

В сенсорі використані світлодіоди D1 (LED1300-03) та D2 (LED1450-03), які працюють на довжинах хвиль 1330 нм і 1450 нм, відповідно, а також фотоприймач VD (PD1450-35T52) з областю спектральної чутливості 1000 – 1600 нм. На вторинному перетворювачі знаходяться елементи регулювання опорного і вимірювального каналів та елементи індикації.

Електрична функціональна схема аналізатора двоканальна і складається з попереднього підсилювача, опорного та вимірювального каналів, мікропроцесора та індикаторного пристрою.

Попередній підсилювач складається з фотоприймача VD; зведеного підсилювача DA1.1, DA1.2, виконаного в одному корпусі; підсилювача DA2 та комутаторів J1 і J2. В опорний канал входять: підсилювач DA3, компаратор DA4, мікропроцесор DD1, підсилювач потужності DA5 та світлодіод D1. У вимірювальний канал входять: підсилювач DA8, компаратор DA7, мікропроцесор DD2 типу ATMEGA8-161 фірми Atmel, підсилювач потужності DA6 та світлодіод D2. Індикатор DA9 виконаний на двох корпусах мікросхем M512-DR1.

У вимірювальну кювету сенсора закачується природний газ з вологістю на рівні нуля. Імпульсний сигнал тривалістю 1 мкс з тривалістю паузи 600 мкс та рівнем напруги 1 В подається на світлодіод D1 чи D2, де перетворюється в імпульсний світловий сигнал з довжиною хвилі 1330 нм чи 1450 нм відповідно. Світловий сигнал проходить через вимірювану кювету сенсора і надходить на фотоприймач VD. При цьому світловий сигнал послаблюється за рахунок поглинання, розсіювання і відбиття на склі та природному газі (рис. 3.6 діаграма № 1 Вологість „0”, позиції D1, D2 та VD).

Фотоприймач VD здійснює перетворення імпульсного світлового сигналу в імпульсний електричний сигнал такої ж самої тривалості ( див. рис.

3.6 діаграма № 1 позиція VD). Імпульсний електричний сигнал з фотоприймача VD надходить до підсилювача DA1.1 попереднього підсилювача, на виході якого переходить в трикутний сигнал з такою ж шпаруватістю ( див. рис. 3.6 діаграма №1 Вологість „0”, позиція DA1.1). Електричний сигнал надходить до підсилювача DA1.2, підсилюється та перетворюється у розтягнутий трикутний сигнал (див. рис. 3.6 діаграма №1 Вологість „0”, позиція DA1.2), який надходить на вхід підсилювача DA2, де знову підсилюється та перетворюється в постійний електричний сигнал ( див. рис. 3,6 діаграма №1 Вологість „0”, позиція DA2). Далі електричний сигнал з підсилювача DA2 надходить на комутатори J1 та J2. Оскільки за командою з мікропроцесора відкритий комутатор J1, тобто працює опорний канал, то електричний сигнал з підсилювача DA2 надходить на підсилювач регулятора діапазону опорного каналу DA3. На цьому підсилювачі формується електричний сигнал, який на компараторі DA4 порівнюється з реперним сигналом від джерела живлення. Після порівняння різницею позитивний сигнал підсилюється компаратором DA4 до рівня 1 В та надходить на вхід АЦП мікропроцесора DD1.

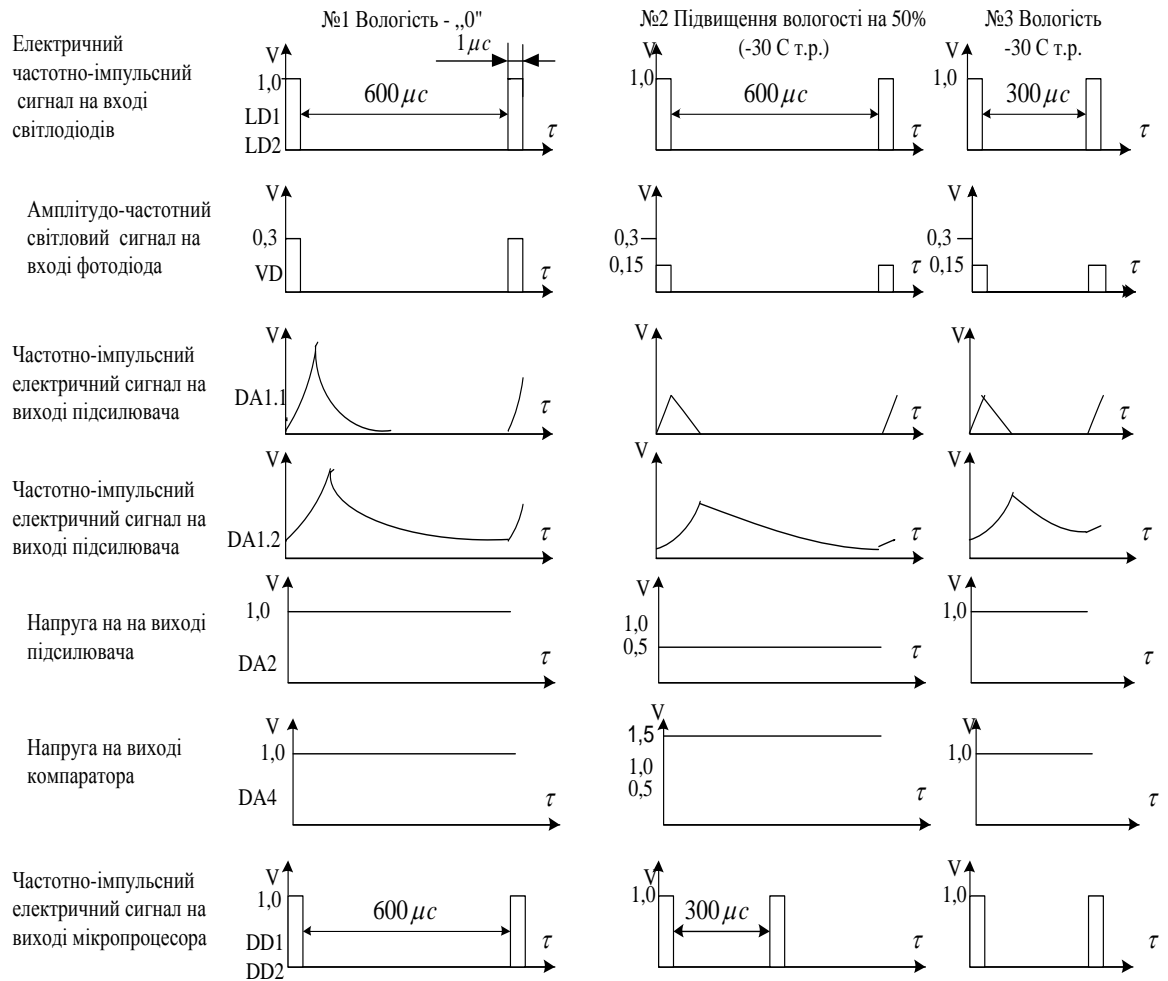


Рисунок 3.6 – Осцилограми роботи сенсора. Залежність зміни шпаруватості від вологості природного газу

При подачі на мікропроцесор DD1 електричного сигналу на рівні 1 В він виробляє імпульсний сигнал тривалістю 1 мкс з тривалістю паузи 600 мкс (див. рис. 3.6 2-га діаграма №1 Вологість „0”, позиція DD1), який потрапляє на вхід підсилювача потужності, де перетворюється на імпульсний струмовий сигнал. Струмовий сигнал вмикає світлодіод D1, тобто перетворює електричний імпульсний сигнал в імпульсний світловий сигнал. Тобто компаратор DA4 та мікропроцесор DD1 встановлюють і підтримують електричний сигнал з амплітудою 1 В, частотою 4000 Гц, тривалістю 1 мкс та тривалістю паузи 600 мкс при вологості природного газу „0 %”.

З наведеного вище опису видно, що опорний канал охоплений глибоким від’ємним зворотним зв’язком.

З виходу мікропроцесора DD1 імпульсний частотний сигнал відводиться на мікропроцесор DD3, де запам'ятовується в частотному вигляді. За сигналом внутрішнього таймера мікропроцесора DD3 відключається комутатор J2, тобто вмикається вимірювальний канал. Він працює аналогічно опорному каналу і також охоплений глибоким від'ємним зворотнім зв'язком. З виходу мікропроцесора DD2 імпульсний частотний сигнал вимірювального каналу подається на мікропроцесор DD3, де запам'ятовується в частотному вигляді та порівнюється з частотним сигналом опорного каналу. Після порівняння інформація обробляється та видається на індикаторний пристрій, який відображає величину вологості природного газу. В цьому випадку величина вологості дорівнює нулю.

У вимірювальну кювету закачується природний газ з рівнем вологості, який складає 50 % діапазону аналізатора. В початковий момент імпульсний електричний сигнал не змінюється, тобто величина електричного сигналу становить 1 В, а тривалість паузи складає 600 мкс (рис. 3.6 діаграма № 2, позиція D1).

Розглянемо проходження електричного сигналу при ввімкненні вимірювального каналу. При проходженні імпульсного світлового сигналу через вимірювальну кювету з вологим природним газом на фотоприймач VD прийде послаблений світловий сигнал. Фотоприймач VD перетворює послаблений імпульсний світловий сигнал в імпульсний електричний сигнал з амплітудою, зменшеною на 50 % (рис. 3.6. діаграма № 2, позиція VD).

Підсилювачі DA1.1 та DA1.2 підсилюють зменшений на 50 % електричний сигнал (див. рис. 3.6 діаграма № 2, позиції DA1.1 та DA1.2).

Підсилювач DA2 підсилює та перетворює імпульсний електричний сигнал в постійний на рівні, який на 50 % менший відносно нульової вологості. Також зменшений по величині постійний електричний сигнал з підсилювача DA8 надходить на компаратор DA7. Компаратор видає на АЦП мікропроцесора DD2 сигнал, вищий 1 В (+ 1,5 В), що приводить до розбалансування пристрою порівняння цифрових сигналів мікропроцесора

DD2 і, відповідно, до збільшення частоти проходження імпульсних сигналів на виході мікропроцесора DD2 (див. рис. 3.6. діаграма № 3, позиція DD2).

Імпульсний електричний сигнал у підсилювачі DA6 перетворюється у струмовий імпульсний електричний сигнал такої ж шпаруватості (300 мкс) та запалює світлодіод D2.

Світловий потік від світлодіода D2 проходить через кювету з вологим газом, послаблюється і потрапляє на фотоприймач VD. Фотоприймач VD перетворює послаблений імпульсний світловий сигнал в електричний імпульсний сигнал зі шпаруватістю 300 мкс та амплітудою імпульсів, послабленою на 50 % (див. рис. 3.6 діаграма № 3, позиції D1 та VD). При проходженні імпульсного електричного сигналу тривалістю паузи 300 мкс через підсилювачі DA1 та DA2, сигнал, аналогічно, перетворюється в постійний електричний сигнал, але вже з величиною напруги на рівні Вологість „0” (див. рис. 3.6 діаграма № 3, позиція DA2).

Постійний електричний сигнал через комутатор J2 надходить на підсилювач регулятора діапазону DA8. З підсилювача DA8 постійний електричний сигнал надходить на компаратор DA7, з виходу якого на АЦП мікропроцесора DD2 надходить постійний електричний сигнал, величиною 1 В. Це відновлює розбалансування пристрою порівняння мікропроцесора DD2, що підтримує тривалість паузи проходження імпульсів на рівні 300 мкс чи з частотою 7000 нм (8000 Гц).

З виходу мікропроцесора DD2 частотний сигнал надходить на мікропроцесор DD3, де запам'ятовується його рівень.

По сигналу таймера мікропроцесора DD3 вмикається комутатор J2 і вмикається комутатор J1, тобто вмикається опорний канал.

Оскільки на довжині хвилі 1330 нм відбувається незначне (на рівні 5 – 7%) послаблення світла, що проходить через середовище з вологим природним газом, то зміна частоти слідування імпульсів також незначна.

Змінений частотний сигнал з опорного каналу надходить на мікропроцесор DD3, де запам'ятовується та порівнюється зі зміненим

частотним сигналом вимірювального каналу. Отриманий після порівняння сигнал обробляється і надходить на індикаторний пристрій, який і відображає величину вологості природного газу.

Мікропроцесорний блок гігрометру знаходиться в алюмінієвому корпусі, має автономний індикатор, а також індикатори режимів роботи. Крім цього даний блок має стандартні виходи у вигляді інтерфейсів RS-232 для підключення до сенсора газу та USB для підключення до єдиної системи збору даних.

### 3.3 Моделювання проекту в ARES PCB LAYOUT

Розробка друкованої плати в ARES розпочинається з виклику команди Tools>NetlisttoARES в програмі моделювання ISISProteus. Після здійснення команди буде автоматично запущено вікно програми ARES з пропозицією вибору необхідного типу друкованої плати, що буде розроблятися. В якості друкованої плати вибираємо плату з двосторонньою металізацією, після чого зберігаємо проект.

В процесі завантаження списку з'єднань для кожного символу схеми в бібліотеках корпусів компонентів \*.LIB знаходиться відповідний корпус. Якщо необхідний корпус відсутній у бібліотеці, то за допомогою вкладки PackageMode створюємо новий корпус або проводимо вибірку одного із існуючих корпусів.

Перед початком процесу автоматичного трасування друкованої плати, за допомогою вкладки Technology>DesignRules проводимо необхідні налаштування допустимого розміщення провідників, їх мінімальної та максимально можливої товщини, а також зазорів між ними. Для початку трасування виконуємо команду Tools>AutoRouter. Отримаємо розведену плату (рис. 3.7).

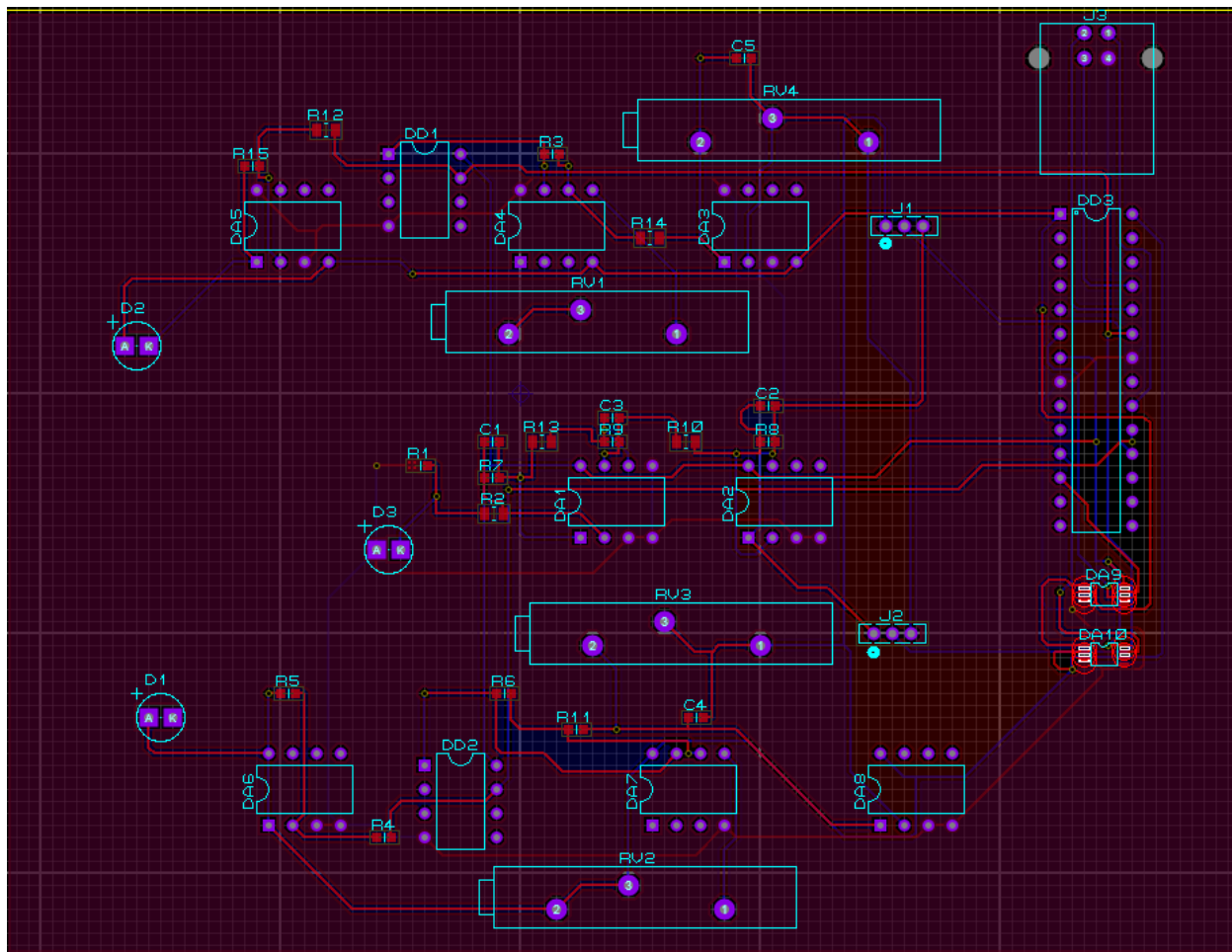


Рисунок 3.7 – Розведена плата в ARES Proteus Layout

Скориставшись функціональними можливостями ARES, побудуємо візуальну трьохвимірну модель друкованої плати з встановленими компонентами. Для цього необхідно виконати команду `Output>3DVisualization`.

Побудована трьохвимірна модель пристрою. (рис 3.8).



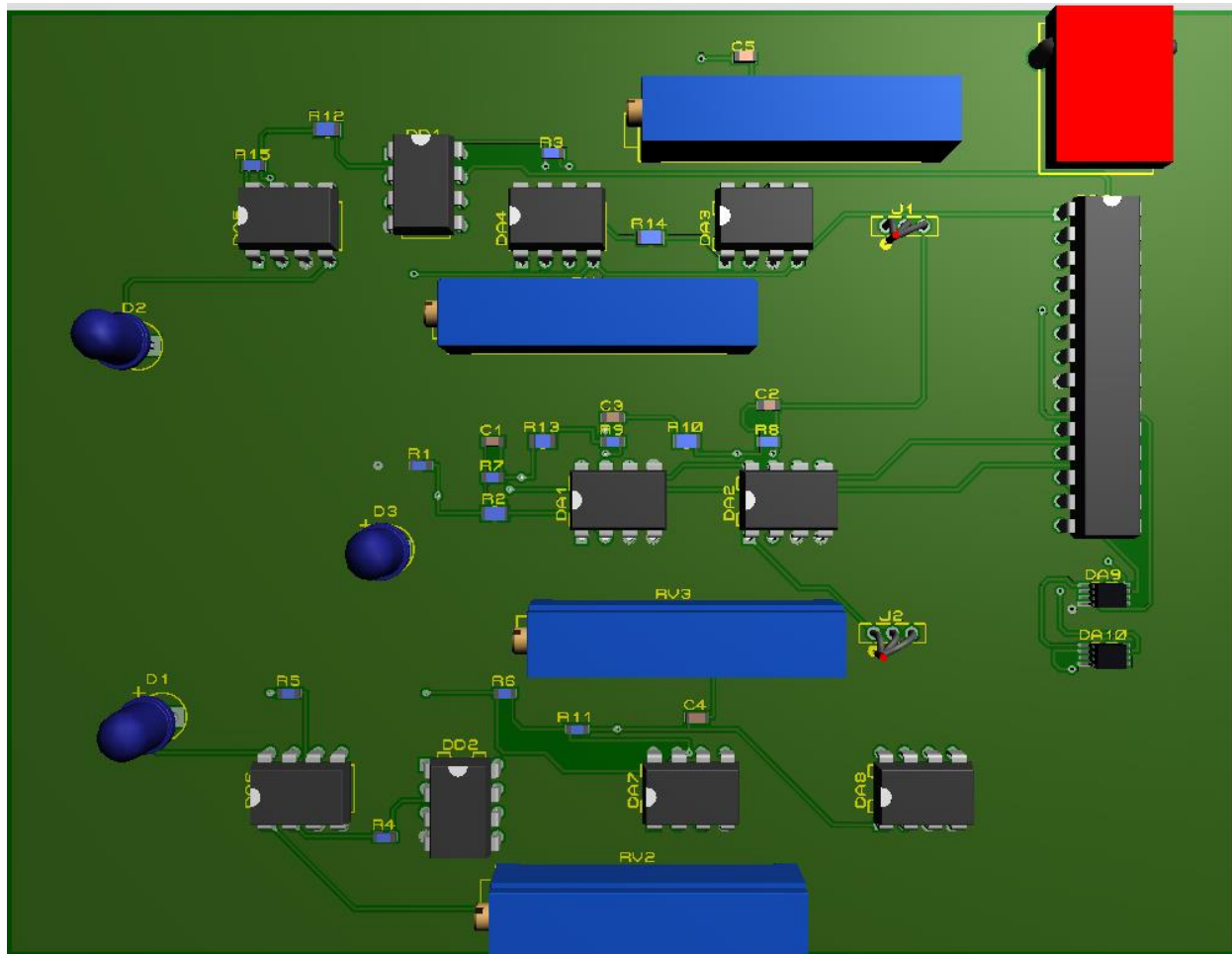


Рис. 3.8 – Трьохвимірна модель пристрою

### 3.4 Висновки

1. В даному розділі було обґрунтовано вибір елементної бази пристрою, обрано типи всіх елементів на платі та зовнішніх елементів, що підключаються до роз'ємів.
2. Запропоновано методику експериментального визначення питомих молярних показників поглинання природного сухого газу та водяної пари. Проведені експериментальні дослідження дали змогу встановити величину поглинання на довжинах хвиль, які використовує запропонований вимірювальний перетворювач та отримати числове

значення коефіцієнтів затухання як для природного газу, так і для водяної пари. Встановлено, що найбільше затухання для водяної пари в ближній інфрачервоній області припадає на довжину хвилі 1,45 мкм, найменше – на 1,33 мкм. Використовуючи коефіцієнти затухання, отримано статичну характеристику вимірювального перетворювача. Максимальне відхилення розрахованих значень відносної вологості від значень на основі залежностей із [13, 14] не перевищує 3 %.

3. Запропоновано підвищити чутливість вимірювального перетворювача вологості шляхом використання зворотного зв'язку, що дало змогу лінеаризувати статичну характеристику, зменшити похибку вимірювань в 2 – 2,5 рази при використанні цього схемного вирішення. Максимальне відхилення розрахованих значень відносної вологості від значень із [13, 14] на основі залежностей із (2.24), (2.25) не перевищує 2 %.

4. Розроблено математичну модель двоканального вимірювального перетворювача вологості природного газу зі зворотними зв'язками, яка на відміну від відомих дає змогу лінеаризувати статичну характеристику не враховуючи тиск і молярну масу газу, що приводить до зменшення кількості контролюючих параметрів і підвищення чутливості і точності перетворення у всьому діапазоні вимірювання вологості.

## 4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Прогнозування витрат на виконання НДДКР

Капітальні вкладення на розробку нового конструкторського технічного рішення, в загальному випадку, складаються з відповідних витрат і розраховуються за формулою (4.1):

$$K = Z_0 + Z_p + Z_{\text{дод}} + A_{\text{обл}} + M + K_v + V_{\text{ел}} + I_v, \quad (4.1)$$

Де  $Z_0$  – основна заробітна плата розробників, грн;

$Z_p$  – основна заробітна плата робітників, які виконують відповідні роботи, грн.;

$Z_{\text{дод}}$  – додаткова заробітна плата розробників та робітників, грн.;

$A_{\text{обл}}$  – амортизація обладнання та приміщень для розробки нового рішення, грн.;

$M$  – витрати на матеріали, які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

$K_v$  – витрати які були використанні на розробку технічного рішення, грн;

$V_{\text{ел}}$  – витрати на електроенергію для розробки нового технічного рішення, грн.;

$I_v$  – інші витрати, грн.;

Витрати на основну заробітну плату розробників розраховуються за формулою (4.2):

$$Z_0 = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} * t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де  $k$  - кількість посад розробників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  - місячний посадовий оклад конкретного розробника;

$t_i$  - число днів роботи конкретного розробника;

$T_p$  - середнє число робочих днів в місяці.

Проведені розрахунки зведемо до табл. 4.1

Таблиця 4.1 - Витрати на заробітну плату розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату
Керівник проекту	15000	714	60	42840
Інженер	7000	333	60	19980
Всього			$z_o$	62820

Розрахунок основної заробітної плати проводиться за наступною формулою (4.3):

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i * t_i, \quad (4.3)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год;

$t_i$  – час роботи робітника на визначеній і й технологічній операції при виготовлені одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна розрахувати за формулою (4.4):

$$C_i = \frac{M_m * K_I * K_C}{T_p * T_{zm}}, \quad (4.4)$$

де  $M_m$  – розмір мінімальної місячної заробітної плати, грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормативними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

Розмір мінімальної заробітної плати станом на 1.01.2019 р. становить 4173 грн.

Детальні розрахунки представимо в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника грн.
Підготовка друкованої плати	2	4	1,5	55,28	110
Паяльні роботи	1	3	1,35	45,9	45,9
Комплектування	1	1	1	37	37
Виконання інших робіт	1	1	1	37	37
Всього					229

Нарахування на заробітну плату в 2019 році. Кожний роботодавець зобов'язаний нараховувати і сплачувати до бюджету єдиний соціальний внесок (ЄСВ). Це консолідований страховий внесок, який включає

соціальний пакет, законодавчо передбачений державою, а саме: пенсійне страхування (виплата пенсій), страхування на випадок тимчасової втрати працездатності (оплата лікарняних), страхування, пов'язане з виникненням нещасних випадків на виробництві. Також нагадаємо, що ЄСВ в 2019 році сплачується за рахунок коштів роботодавця.

У загальному випадку ставка ЄСВ складає 22% (ч. 5 ст. 8 ЗУ "Про ЄСВ"). Нарахування на заробітну плату відповідно до діючого законодавства розробників та робітників становить 22% від суми основної та додаткової заробітної плати розробників і робітників за формулою (4.5):

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) * H_{\text{зп}}, \quad (4.5)$$

де  $H_{\text{зп}}$  – норма нарахування на заробітну плату робітників.

Розрахунок приведений в формулі 4.6.

$$Z_n = (62820 + 229) * 22\% = 13\,870 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

Таблиця 4.3 - Витрати на основні матеріали

№	Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Витрачено	Ціна за одиницю, грн	Вартість витраченого матеріалу, грн.
1.	Плата дворівнева	шт.	1	40	40
2.	Провід монтажний	м	0,4	37,5	15
3.	Припій	г	20	0,75	15
4.	флюс	г	20	1	20
5.	Мережевий кабель	шт.	1	60	60
6.	Папір офсетний	уп.	1	130	130
7.	Картридж для принтера	шт	1	155	155
Всього					435

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе:

$$M = 435 * 1,1 = 478,5$$

Наступним етапом є розрахунок амортизаційних відрахувань. В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання та приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою 4.7:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}}}{T_{\text{в}}} * \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (4.7)$$

де  $Ц_{\text{б}}$  – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувалися для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{\text{вик}}$  – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

$T_{\text{в}}$  – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.  
Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Робоче приміщення	150 000	15	2	1666,67
Програмне забезпечення	100 000	2	2	8333,3
Комп'ютер	15 000	7	2	357,1
Паяльна	3500	3	2	194,4

станція				
Витяжка	2000	3	2	111,1
Дрібні устаткування	30 000	3	2	1666,6
Всього				12327

Витрати на комплектуючі вироби, які використовуються при розробці одиниці нового технічного рішення, розраховуються згідно з їхньою номенклатурою за формулою 4.8:

$$K_B = \sum_{j=1}^n H_j * C_j * K_j, \quad (4.8)$$

де  $H_j$  – кількість комплектуючих  $j$  - го виду;

$C_j$  - ціна комплектуючих го виду;

$K_j$  - коефіцієнт транспортних затрат.

Коефіцієнт транспортних витрат може коливатися від 1,1 до 1,15. В нашому випадку становить 1,15.

Розрахунки зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Витрати на комплектуючі

№	Товар	Кількість	Ціна за одиницю	Сума, грн
1.	Матеріал друкованої плати – двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 ТУ16-503.271- 86	1	300	300
2.	Конденсатор	4	4	16
3.	Катушка	2	200	400



	індуктивності			
4.	Резистори	8	3	24
5.	Транзистори	3	30	90
6.	Мікросхеми (atmega908, 78L05)	2	5	10
7.	Роз'єми (SIL- 100-2, CONN- H2)	2	100	200
8.	П'єзодинамік (ВМТ- 1206UX).	1	25	25
Всього				1065

Наступним етапом є розрахунок витрат на силову електроенергію:

Витрати на силову електроенергію  $B_e$  розраховується за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} * t_i * C_e * K_{впi}}{\eta_i}$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на визначеній  $i$  – й технологічній операції при виготовленні одного виробу або на етапі розробки, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт – години електроенергії, грн;

$K_{впi}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{впi} < 1$ .

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

Проведені розрахунки зведемо до таблиці:

Таблиця 4. 6 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
----------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------

Паяльник для мікросхем	0,040	2	0,192
Дрібні устаткування	0,040	3	0,288
Паяльна станція	0,080	0,5	0,096
Всього			0,576

Витрати на електроенергію становлять 2,4 грн/кВт·год для промислових підприємств першого класу напруги, постачальник Вінницяобленерго.

#### 4.2. Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Метою будь якого підприємства є отримання прибутку. На рівень цін підприємства впливають наступні фактори: собівартість продукції; наявність унікальних властивостей продукції; ціни-продуктів конкурентів і цін товарів-замінників; можливість отримання достатнього прибутку. Нижня межа ціни – це собівартість, верхня межа платоспроможність покупців. Скористаємось методом лімітних цін, за якого визначається верхня та нижня межа ціни.

Сума всіх калькуляційних статей витрат утворює виробничу собівартість виробу.

Результати розрахунків всіх видів витрат, на виготовлення одиниці продукції, необхідно звести до таблиці.

Таблиця 4. 7 – Собівартість виготовлення виробу

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.
1. Витрати на матеріали на	<i>M</i>	435

одиницю продукції		
2. Витрати на комплектуючі на одиницю продукції, грн	<b><i>Kв</i></b>	1065
3. Витрати на силову електроенергію, грн.	<b><i>Be</i></b>	0,576
4. Витрати на основну заробітну плату робітників, грн.	<b><i>Зр</i></b>	229
5. Витрати на нарахування на заробітну плату робітників, грн.	<b><i>Зн</i></b>	51
6. Загальновиробничі витрати, грн.	<b><i>Взаг</i></b>	458
	<b><i>Sв</i></b>	2238,5

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені витрати, зв'язок, витрати на інтернет та інтернет послуги тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200 – 300% від суми основної зарплати дослідників та робітників.

Величина інших витрат складе:

$$I = (62820+229) *200\% = 126098$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B = 62820+229+435+12327+0,576+1065+478,5+13\ 870+ 126098$$

= 217 323 грн

Нижня межа ціни передбачає, що виробник має покривати усі понесені витрати в процесі виробництва та забезпечити відповідний рівень рентабельності для підприємства.

Ціна реалізації розраховується за формулою 4.10:

$$C_{\text{нмр}} = S_{\text{в}} * \left(1 + \frac{P}{100}\right) * \left(1 + \frac{w}{100}\right), \quad (4.10)$$

де  $C_{\text{нмр}}$  - нижня межа ціни реалізації виробу;

$S_{\text{в}}$  - виробнича собівартість виробу, грн;

$P$  - нормативний рівень рентабельності, %;

$w$ - ставка податку на додану вартість.

За нормативний рівень рентабельності приймаємо 40% для першого року виробництва, в подальшому підприємство планує нарощувати. Ставка податку на додану вартість станом становить 20%.

За ціну реалізації приймається ринкова ціна на відповідні вироби з врахування значень показників якості нової розробки відносно до показників базового виробу і в цьому випадку розрахуємо верхню межу ціни:

$$C_{\text{нмр}} = 2238 * (1+0,4) * (1+0,2) = 3760$$

В даний час перспективність наукового дослідження визначається не стільки масштабом відкриття, оцінити на перших етапах життєвого циклу високотехнологічного продукту буває важко, скільки комерційною цінністю розробки. Оцінка комерційної цінності розробки є необхідною умовою при пошуку джерел фінансування для проведення наукового дослідження і

комерціалізації його результатів. Це важливо для розробників, які повинні представляти стан і перспективи проведених наукових досліджень.

Необхідно розуміти, що комерційна привабливість наукового дослідження визначається не тільки перевищенням технічних параметрів над попередніми розробками, а й тим, наскільки швидко розробник зможе знайти відповіді на такі питання - чи буде продукт затребуваний ринком, яка буде його ціна, який бюджет наукового проекту, який термін буде потрібно для виходу на ринок і т.д.

#### **4.3. Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності**

Експлуатаційні витрати є такі витрати, які забезпечують функціонування будь якої розробки в період її експлуатації.

Спочатку розраховується заробітна плата обслуговуючого персоналу  $Z_{\text{обс}}$ :

$$Z_{\text{обс}} = N * T_1 * K_{\text{сер}} * \Phi_e * K_c * \beta, \quad (4.12.)$$

де  $N$  – число робітників, що обслуговують один виріб;

$T_1$  – погодинна тарифна ставка оплати праці 1 – го розряду;

Погодинна тарифна ставка  $T_1$  визначається за формулою:

$$T_1 = \frac{M_m}{T_p * T_{zm}}, \quad (4.13.)$$

де  $M_m$  – мінімальна місячна заробітна плата встановлено КМ;

$T_p$  – число робочих днів у місяці;

$T_{zm}$  – тривалість зміни;

$K_{\text{сер}}$  – середній тарифний коефіцієнт, що обслуговують виріб;

$\Phi_e$  – ефективний фонд часу робітників за рік;

$K_c$  – коефіцієнт співвідношень;

$\beta$  - частка часу, який витрачає на обслуговування виробу в загальному часі своєї роботи;

Мінімальна заробітна плата становить 4173. Середнє число робочих місяців 21. Тривалість зміни 8 год.

$\beta$  - частка часу, який витрачає на обслуговування виробу в загальному часі своєї роботи становить 0,16.

$$T_1 = \frac{4173}{8 * 21} = 24,8$$

$$\text{Отже, } Z_{\text{обс}} = 1 * 24,8 * 1 * 1,37 * 1800 * 0,16 = 9785 \text{ грн.}$$

Наступним кроком є розрахунок витрат на силову енергію:

$$V_e = V * \Pi * \Phi * K_{\Pi} \quad (4.14.)$$

де  $V$  – вартість 1 кВт – години електроенергії.

$\Pi$  – установлена потужність виробу, к ВТ;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи виробу за рік, годин;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання потужності.

Витрати на електроенергію становлять 2,4 грн/кВт·год для промислових підприємств першого класу напруги, постачальник Вінницяобленерго.

$$V_e = 2,4 * 0,12 * 0,3 * (8 * 21 * 12) = 174$$

Амортизаційні відрахування для розробки визначаються за формулою:

$$A = \frac{Ц * H_a}{100} \quad (4.15)$$

де Ц балансова вартість виробу, грн;

На – річна сума амортизації, %.

$$A = \frac{3443 * 25\%}{100} = 860,75$$

Витрати на поточний ремонт розробки розраховується за формулою:

$$P = \frac{B_1 * N_1}{T_1} + \frac{B_n * N_n}{T_n} * \Phi + Z_p \quad (4.16)$$

Де  $B_1, \dots, B_n$  – вартість однотипних елементів, що замінюються протягом року, грн;

$N_1, N_2 \dots, N_n$  – кількість однотипних елементів, що замінюються протягом року, шт;

$T_1, T_2 \dots, T_n$  - середній строк дії однотипних елементів, що замінюються годин;

$$P = (60 * 1/4000 + 20 * 1/5000 + 30 * 1/4000) * 2000 + 200 = 253$$

Інші витрати 5 – 10% від суми загальних витрат.

$$253 * 10\% = 25,3$$

Сума витрат за всіма статтями дає величину експлуатаційних витрат для даної розробки  $E_2$ :

$$E_2 = 253 + 25 + 860 + 174 + 9785 = 11\,097$$

#### **4.4 Визначення коефіцієнта значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи**

Коефіцієнт наукової значимості отриманих результатів науково – дослідної роботи підраховується за формулою:

$$K_{\text{зп}} = \frac{\sum_1^3 b_i d_i}{\sum_1^3 b_{\text{max}} d_i}$$

де  $b_i$  – значимість отриманих результатів;

$b_1$  – ступінь наукової новизни;

$b_2$  – рівень теоретичної обґрунтованості;

$b_3$  – ступінь експериментальної перевірки результатів.

Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7 – 10 балів.

$d_i$  – питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в таблиці.

3 – кількість характеристик за якими зроблена оцінка результатів науково – дослідної роботи.

Таблиця 4. 7 - Показники для оцінювання наукової значимості НДР

Характеристики	Питома вага характеристики	Ступінь новизни $b_1$	Рівень теоретичної обґрунтованості $b_2$	Ступінь експериментальної перевірки $b_3$
		1	3 -5	7- 10
$b_1$	0,5	Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів	Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів	Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів. Створення принципово нової технології
$b_2$	0,33	Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень	Установлення залежностей, які використовувались в інших випадках	Відкриття нових шляхів рішення задачі
$b_3$	0,167	Експериментальна перевірка не робилась	Результати перевірялись на невеликій	Результати перевірялись на великій



			кількості даних	кількості даних
--	--	--	--------------------	--------------------

Визначимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{zn} = \frac{1 * 0,5 + 5 * 0,333 + 5 * 0,167}{10 * 0,5 + 10 * 0,333 + 10 * 0,167} = 0,3$$

#### 4.4.1 Внесок дослідника в досягнення результатів НДР

Внесок дослідника в досягнення результатів НДР розраховується за формулою:

$$V = \frac{k_{тві} * Z_i}{\sum_1^n k_{тві} Z_i}$$

де  $k_{тві}$  – коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР;

$Z_i$  – заробітна плата НДР;

$P$  – кількість виконавців.

$$V = \frac{3 * 7000}{3 * 15000} = 0,46$$

#### **4.5 Висновки**

Економічні розрахунки підтвердили виробництво виробу. Підприємство планує на наступному році випуску збільшувати обсяги і та ринку збуту, таким чином плануємо, що його рентабельність зросте. Розробка є актуальною, оскільки даний пристрій має широку сферу застосування. Одними з найбільших статей витрат становить комплектуючі матеріали, електроенергія та заміна деталей, тобто ремонт. Сума загальних витрат становить 11 097 грн.

Проведені дослідження мають високий ступінь значимості 0,3 . Внесок дослідника становить 0,46.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

У цьому розділі проводиться аналіз шкідливих, небезпечних і уражаючих для людини і оточуючого довкілля факторів, які виникають під час проведення розробки двоканального вимірювача вологості природного газу. В ньому розглядаються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення витяжної загальнообмінної штучної вентиляції при виділенні шкідливих речовин та надлишків вологи, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки, безпека у надзвичайних ситуаціях.

В процесі розробки даного пристрою на працюючих впливають ті чи інші небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп згідно [26].

Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: понижена або підвищена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, недостатність або відсутність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, відбита або пряма блискучість, підвищена яскравість світла.

Психофізіологічні НШВФ: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці.

### **5.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії**

#### **5.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони**

Визначаємо для приміщення, в якому проводяться роботи з розробки двоканального вимірювача вологості природного газу, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Відповідно до [26] допустимі показники мікроклімату в робочій зоні для холодного та теплого періодів року наведені у таблиці Х.1 додатку Х.

Розкид значень температури повітря за висотою робочої зони для всіх категорій робіт допускається до 3°C. При опроміненні менше 25% поверхні тіла людини, нормована інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), що використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, для контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, що утворюються у даному виробничому приміщенні наведено в таблиці X.2 додатку X.

Для забезпечення нормованих показників мікроклімату і чистоти повітря робочої зони запропоновано: в приміщенні має бути встановлена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року; щоденне вологе прибирання; припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

Вихідні дані: кількість шкідливих речовин, які виділяються за одиницю часу  $G_{шп} = 2400$  мг/год;  $ГДК = 7000$  мг/м<sup>3</sup>. Надмірна волога у приміщенні  $G = 1,7$  кг/год; кількість вологи, що видаляється та потрапляє у приміщення  $d_1 = 0,002$  кг/м<sup>3</sup>;  $d_2 = 0,001$  кг/м<sup>3</sup>.

Знаходимо орієнтовну продуктивність вентилятора при виділенні шкідливих речовин за формулою:

$$L_{шп} = \frac{G_{шп}}{(q_1 - q_2)} = \frac{G_{шп}}{0,7ГДК} \text{ [м}^3\text{/год]}, \quad (5.2)$$

де  $G_{шп}$  – кількість шкідливих речовин, які виділяються за одиницю часу, мг/год;

$q_1, q_2$  – концентрації шкідливих речовин у повітрі, що виводиться та поступає у приміщення ( $q_1 \leq ГДК$ ;  $q_2 \leq 0,3ГДК$ ), мг/м<sup>3</sup>;

$\Gamma ДК$  – гранично допустима концентрація шкідливої речовини, мг/м<sup>3</sup>.

Знаходимо орієнтовну продуктивність вентилятора при виділенні надлишків вологи за формулою:

$$L_{HB} = \frac{G}{d_1 - d_2} \text{ [м}^3\text{/ГОД]}, \quad (5.3)$$

де  $G$  – надмірна волога у приміщенні, кг/год;

$d_1, d_2$  – кількість вологи, що видаляється та потрапляє у приміщення, кг/м<sup>3</sup>.

Із двох значень продуктивностей вентилятора  $L_{ШР}$  та  $L_{HB}$  за розрахункову приймається найбільша із них

$$L = \max\{L_{ШР}; L_{HB}\} \text{ [м}^3\text{/ГОД]}. \quad (5.4)$$

Потужність електродвигуна вентилятора може бути визначена за формулою:

$$N = \frac{LHK}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \eta_{п.п.}} \text{ [кВт]}, \quad (5.5)$$

де  $L$  – продуктивність вентилятора, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – повний тиск вентилятора, кг/м<sup>2</sup>;

$K$  – коефіцієнт запасу;

$\eta_B, \eta_{п.п.}$  – ККД вентилятора та пасової передачі відповідно (для плоских пасів 0,85...0,9, для клиновидних 0,9...0,95).

Підставляючи відомі значення у формули (5.2, ..., 5.4) отримаємо

$$L_{ШР} = \frac{2400}{0,7 \cdot 7000} = 0,49 \text{ (м}^3\text{/ГОД)};$$

$$L_{HB} = \frac{1,7}{0,002 - 0,001} = 1700 \text{ (м}^3\text{/год)};$$

$$L = \max\{0,49; 1700\} = 1700 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

За отриманим значенням продуктивності вентилятора вибираємо повний тиск вентилятора  $H = 40$  кг/м<sup>2</sup>. Вибираємо коефіцієнт запасу  $K = 1,1 \dots 1,2 = 1,12$ . ККД вентилятора  $\eta_B = 0,6$ . З метою підвищення ККД пасової передачі вибираємо клиновидні паси, для яких  $\eta_{n,n} = 0,9 \dots 0,95 = 0,92$ .

За відомими значення розрахуємо потужність електродвигуна вентилятора за формулою (5.5)

$$N = \frac{1700 \cdot 40 \cdot 1,12}{3600 \cdot 102 \cdot 0,6 \cdot 0,92} = 0,376 \text{ (кВт)}.$$

За отриманим значенням вибираємо електродвигун типу А02-11-6 з  $N = 0,4$  кВт,  $n = 935$  об/хв.

### 5.1.2 Виробниче освітлення

З метою створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях великі вимоги пред'являються до якісних та кількісних параметрів освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводяться роботи з розробки двоканального вимірювача вологості природного газу, згідно [26] визначаємо, що вони відповідають III розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – середній, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд *в*.

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості при штучному освітленні наведені в таблиці Х.3 додатку Х.

Оскільки приміщення розташоване в місті Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові проєкти розташовані за азимутом  $0^\circ$ , то за таких умов КЕО розраховується за виразом [27]

$$e_N = e_H m_N [\%], \quad (5.1)$$

де  $e_H$  – табличне значення КЕО, %;

$m_N$  – коефіцієнт світлового клімату;

$N$  – номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,6} = 2 \cdot 0,9 = 1,8 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,1 (\%).$$

З метою встановлення нормованих значень показників освітлення запропоновано: за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним завдяки використанню люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; використання загального штучного освітлення в темний час доби.

### 5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при використанні пристроїв крім усього іншого устаткування застосовується обладнання, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, потрібно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Визначено, що приміщення, в якому відбувається робота з розробки двоканального вимірювача вологості природного газу може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що генерується електродвигунами вентиляційної системи.

З метою попередження травмування працюючих під дією шуму та вібрації вони підпадає під нормування. Основним документом стосовно виробничого шуму, діючим в Україні, є [27], згідно з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не мають бути більшими ніж значення, що наведено в таблиці X.4 додатку X. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці X.5 додатку X для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

Для забезпечення нормованих параметрів віброакустичних коливань в приміщенні передбачено: постійне змащування підшипників вентиляторів системи вентиляції; використання в конструкціях обладнання віброізоляції та акустичних екранів.

#### 5.1.4 Виробничі випромінювання

Аналіз умов праці показав, що приміщення, де виконується робота з розробки двоканального вимірювача вологості природного газу може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів наведені у таблиці X.6 додатку X.

З метою гарантування захисту та досягнення нормованих рівнів випромінювань потрібно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

## **5.2 Промислова та пожежна безпека при проведенні розробки двоканального вимірювача вологості природного газу**

### 5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць



Конструкція робочого місця, його розміри і взаємне розташування його елементів мають відповідати антропометричним, фізіологічним та психофізіологічним властивостям людини, а також характеру праці [27].

Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, має становити не менше  $6,0 \text{ м}^2$ , об'єм приміщення – не менше як  $20 \text{ м}^3$ , висота – не менше  $3,2 \text{ м}$  [28].

Інтер'єр приміщень потрібно оздоблювати дифузно-віддзеркалювальними матеріалами з коефіцієнтом відбиття: стелі  $0,7-0,8$ ; стін  $0,4-0,5$ ; підлоги  $0,2-0,3$ . Поверхня підлоги має бути рівною, не слизькою, без вибоїн, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється застосовувати для оздоблення інтер'єру полімери, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

### 5.2.2 Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом в цьому приміщенні можуть бути: робота під напругою під час проведення ремонтних робіт, несправність устаткування, випадковий дотик до струмоведучих частин чи металевих частин, що опинилися під напругою. У відповідності до [28] це приміщення належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність високої (більше 75 %) вологості. Через це безпека використання електрообладнання повинна забезпечуватись комплексом заходів, що включають застосування ізоляції струмовідних елементів, захисного заземлення, захисних блокувань тощо [28].

### 5.2.3 Пожежна безпека

Згідно [28] приміщення, в якому проводиться робота з розробки двоканального вимірювача вологості природного газу, відноситься до категорії пожежної небезпеки Б. Це приміщення відноситься до 2-го ступеня

вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій приміщення, що розглядається наведені в таблиці X.7. В таблиці X.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Вибираємо, що приміщення, де проводиться робота з розробки, має бути обладнане двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [28].

### **5.3 Висновки**

Під час виконання цього розділу було розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії, визначення витяжної загальнообмінної штучної вентиляції при виділенні шкідливих речовин та надлишків вологи, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення розробки двоканального вимірювача вологості природного газу, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Додаток А  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра електроніки та наносистем

ЗАТВЕРДЖУЮ  
завідувач кафедри ЕНС  
д.т.н., проф. Білинський Й.Й

---

«17» вересня 2019 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**  
до магістерської кваліфікаційної роботи

**Двоканальний вимірювач вологості природного газу. Розробка  
двоканального вимірювача вологості природного газу.**

зі спеціальності 153 - «Мікро- та наносистемна техніка»

Керівник,  
д.т.н., професор  
\_\_\_\_\_ Білинський Й.Й.

Дипломник,  
студент гр. МНТ-18м  
\_\_\_\_\_ Белоусов М.Р.

Вінниця, 2019 р.

## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

### 1. Найменування і область застосування

Найменування – Двоканальний вимірювач вологості природного газу. Частина 2. Розробка двоканального вимірювача вологості природного газу.

Область застосування – підвищення точності вимірювання вологості природного газу.

### 2. Основа для (дослідження) розробки

Основою для виконання цієї магістерської кваліфікаційної роботи є завдання на МКР та наказ ректора ВНТУ № 254 від «03» вересня 2019 р.

### 3. Мета та призначення дослідження (розробки)

Мета розробки – підвищення точності вимірювання вологості природного газу.

Призначення розробки – двоканального вимірювача вологості природного газу.

### 4. Джерела розробки

У процесі розробки мікропроцесорного пристрою зчитування інформації радіочастотним методом рекомендовано залучати патентний пошук та використовувати спеціальну літературу, а саме:

1. Онушко В. В. Класифікація оптичних методів дослідження фізико-хімічних параметрів газу /Й. Й. Білинський, Б. П. Книш, В. В. Онушко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 2. – С. 52–56. – ISSN 2219–9365.

2. Плотников В. В. Контроль состава и качества природного газа / В. В. Плотников, В. А. Подрешетников. – Л. : Недра. – 1983. – 345 с.

3. Соков И. А. Метрологическое обеспечение гигрометрии. – М., Госстандарт СССР, (Обз. инф. Госстандарта СССР, вып.1), 1987. – 56 с.

### 5. Технічні вимоги

5.1 Вимоги до електричних параметрів та режимів:

- напруга живлення, В.....5;
- діапазон робочих температур.....  $t_{\text{роб}} = -40^{\circ}\text{C} \dots + 85^{\circ}\text{C}$ ;
- діапазон вимірювань.....0,1 – 5% вологості середовища ;
- наявність двох каналів: опорного та вимірювального.....

5.2 Вимоги до конструкції:

- матеріал друкованої плати – двосторонній фольгований склотекстоліт товщина, мм.....1.5;

- розміри, не більше, мм, 110×98×1,5;

5.3 Вимоги до стійкості при механічній дії:

Гігрометр має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час та після дії механічних навантажень: вібраційних з частотою 1–2000 Гц і максимальним прискоренням 1–5 g, багатократних ударів тривалістю 13 мс з прискоренням 25–70 g, лінійних навантажень з максимальним прискоренням 25 g.

5.4 Вимоги до стійкості при кліматичній дії:

Гігрометр має зберігати свої параметри в межах встановлених норм під час і після дії кліматичних факторів: температури повітря від +85°C (верхнє значення) до –40°C (нижнє значення); відносної вологості навколишнього середовища 70 % при температурі +35°C.

5.5 Вимоги до надійності:

Мінімальне напрацювання пристрою у вказаних режимах та умовах має бути не меншим за 10 000 год. Інтенсивність відмов у режимах й умовах роботи не має перевищувати  $2,7 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

## **6 Економічні показники:**

Орієнтовна ефективність і термін окупності витрат на розробку й освоєння виробництва продукції, лімітна ціна, економічна перевага розробленої продукції порівняно з кращими зразками.

## **7 Стадії і етапи розробки:**

7.1 Розробка технічного завдання.

7.2 Огляд відомих систем вимірювання вологості природного газу за літературними й патентними джерелами.

7.3 Вибір та аналіз варіантів рішення.

7.4 Вибір оптимального варіанта й детальна розробка його конструктивної схеми.

7.5 Розробка функціональної та електричної схеми.

7.6 Моделювання роботи гігрометра.

7.7 Розробка складального креслення.

7.8 Техніко-економічні розрахунки, розробка заходів безпеки життєдіяльності.

7.9 Оформлення текстової документації та ілюстративних матеріалів для захисту МКР.

## **8 Порядок контролю і приймання:**

- рубіжний контроль виконання окремих розділів МКР;
- попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи;
- захист МКР перед ДЕК

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз взаємодії випромінювання з вологим газом. Запропоновано модель перенесення випромінювання в середовищі вологого газу, яка адекватно описує фізичні процеси затухання випромінювання у вологому газі й на відміну від відомих вологих газ в загальному випадку представляється як сума густин сухої частини і водяної пари при відповідних парціальних тисках і температурі з урахуванням питомих молярних показників поглинання природного сухого газу та водяної пари.

2. Отримав подальший розвиток двочастотний інфрачервоний метод контролю вологості природного газу та розроблено двоканальну структурну схему для його здійснення, який на відміну від відомих, відрізняється тим, що значення вологості газу отримують на основі співвідношення показників поглинання природного сухого газу та водяної пари в результаті проходження світлових потоків через газове середовище, які налаштовані на встановлені довжини хвиль та завдяки їх відмінним поглинаючим властивостям.

3. Розроблено математичну модель двоканального вимірювального перетворювача вологості природного газу, яка на відміну від відомих дає змогу не враховувати тиск і молярну масу газу, що приводить до зменшення кількості контролюючих параметрів і забезпечує підвищення точності.

4. Запропоновано методику експериментального визначення питомих молярних показників поглинання природного сухого газу та водяної пари. Проведені експериментальні дослідження дали змогу встановити величину поглинання на довжинах хвиль, які використовує запропонований вимірювальний перетворювач та отримати числове значення коефіцієнтів затухання як для природного газу, так і для водяної пари. Встановлено, що найбільше затухання для водяної пари в ближній інфрачервоній області припадає на довжину хвилі 1,45 мкм, найменше – на 1,33 мкм. Використовуючи коефіцієнти затухання, отримано статичну характеристику вимірювального перетворювача. Максимальне

відхилення розрахованих значень відносної вологості від значень на основі залежностей із [13, 85] не перевищує 3 %.

5. Запропоновано підвищити чутливість вимірювального перетворювача вологості шляхом використання зворотного зв'язку, що дало змогу лінеаризувати статичну характеристику, зменшити похибку вимірювань в 2 – 2,5 рази при використанні цього схемного вирішення. Максимальне відхилення розрахованих значень відносної вологості від значень із [13, 85] на основі залежностей із (2.24), (2.25) не перевищує 2 %.

6. Розроблено математичну модель двоканального вимірювального перетворювача вологості природного газу зі зворотними зв'язками, яка на відміну від відомих дає змогу лінеаризувати статичну характеристику не враховуючи тиск і молярну масу газу, що приводить до зменшення кількості контролюючих параметрів і підвищення чутливості і точності перетворення у всьому діапазоні вимірювання вологості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 319 с.
2. Мухитдинов М. Оптические методы и устройства контроля влажности / Мухитдинов М. Н., Мусаев Э. С. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 96 с.
3. Ничуговский Г. Ф. Определение влажности химических веществ / Ничуговский Г. Ф. – Л. : Химия, 1977. – 200 с.
4. Онушко В. В. Універсальна класифікація оптичних методів дослідження густини газу / Й. Й. Білинський, Б. П. Книш, В. В. Онушко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2100. – № 4. – С. 23–26. – ISSN 2226–9150.
5. Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги. : ГОСТ 20060-83. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 10 с.
6. Уоррэл Р. Психрометрическое определение относительной влажности воздуха при температуре, превышающей 100 °С / Уоррэл Р. – Л. : Гидрометеиздат. – 1967. – 300 с.
10. Зайцев В. А. Влажность воздуха и ее измерение / В. А. Зайцев, А. А. Ледохович, Г. Т. Никандрова. – 1974. – 112 с.
11. Онушко В. В. Класифікація оптичних методів дослідження фізико-хімічних параметрів газу / Й. Й. Білинський, Б. П. Книш, В. В. Онушко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 2. – С. 52–56. – ISSN 2219–9365.
12. Плотников В. В. Контроль состава и качества природного газа / В. В. Плотников, В. А. Подрешетников. – Л. : Недра. – 1983. – 345 с.
13. Соков И. А. Метрологическое обеспечение гигрометрии. – М., Госстандарт СССР, (Обз. инф. Госстандарта СССР, вып.1), 1987. – 56 с.



14. Конверсия и новые возможности измерения влажности в трубопроводах / Д. Л. Рогожинский, Ю. С. Гангнус, Ю. А. Малоземов, Ю. А. Михайлин и др. // Газовая промышленность. –№10. –1991. –С. 16 – 17.

15. Шинкаренко Ю.В. Разработка влагопреобразователя с увеличенным ресурсом [Электронный ресурс] // Ю.В. Шинкаренко // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала 55 в современных условиях: материалы Двенадцатой международной Промышленной конференции; п. Плавья, Карпаты, 13-17 февраля 2012 г. - К.: УІЦ "НТТ", 2012.-1 CD-ROM

16. Соков И. А. Метрологическое обеспечение гигрометрии: Обзорная информ. / И. А. Соков, Г. Д. Вапняр. – М. : ВНИИКИ. –1982. –211 с. – Сер. «Метрологическое обеспечение измерений». –вып.5.

17. Влагометрия природного газа: состояние и проблемы. : обз. информ./ В. С. Битюков, И. Н. Москалев и др. – М. : ИРЦ Газпром. – 1999. – 36с. –Сер.: Подготовка и переработка газа и газового конденсата.

18. Пістун Є. П. Облік та економія природного газу // Нафта і газова промисловість – 2000. – № 2. – С. 51–53.

19. Оптоволоконные сенсоры / Под ред. Дж. Дейкина и Б. Калшо. – М. : Мир, 1992. – 360 с. – Вып. 1. Принципы и компоненты.

20. Бусурин В. К. Волоконно-оптические датчики : Физические основы, вопросы расчета и применения / В. К. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 280 с.

21. див.: Михайлец В.А. Термоэлектролитические устройства контроля влажности воздуха с улучшенными эксплуатационными характеристиками. - Дис. ...к.т.н. - Винница, 1989. - С. 39-57

22. Патент РФ № 2224246. Микроэлектронный датчик влажности поверхностно-конденсационного типа / М. И. Горлов, А. В. Андреев, Л. П. Ануфриев, Е. В. Николаева; Заявл. 10.07.02; Оpubл. 20.02.2004. Бюл, № 5.

23. Многопараметрические влагомеры для сыпучих материалов / Н. С. Дубов, Е. С. Кричевский, Б. И. Невзлин и др. – М. : Машиностроение, 1980. – 144 с.

24. Герасимов Я. И. Курс физической химии / Герасимов Я. И. – М. : Госхимиздат, 1963. – 400 с.

25. Кричевский И. Р. Фазовые равновесия в растворах при высоких давлениях / Кричевский И. Р. – М. : Госхимиздат, 1946. – 320 с.

26. Рид Р. Свойства газов и жидкостей / Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. – Л. : Химия, 1982. – 430 с.

27. Найденов Р. Измерение влажности парогазовой среды емкостным сенсором / Найденов Р. О., Кореньков В. С, Федоров Б. И. // ИФЖ. – 1969. – № 5. – С. 25–28.

28. Дерягин Б. В. Мембранный гигрометр и применение его для определения относительной влажности воздуха / Дерягин Б. В., Мельникова М. К. // Метеорология и гидрология. – 1952. – № 5. – С. 35–40.

Додаток Б  
(Обов'язковий)

Дослідження параметрів пристрою

Дослідження математичної моделі відносної вологості газу

$$I10 := 1 \quad I20 := 1$$

$$\mu V := 18.01610^{-3} \quad \mu G := 16.04310^{-3} \quad \rho V := 0.7490 \quad \rho G := 0.860$$

$$KV1 := 171 \quad KG1 := 29 \quad KG2 := 23.6 \quad KV2 := 18.1$$

$$T := 29\text{C} \quad TC := 29\text{C} \quad D := 0.50$$

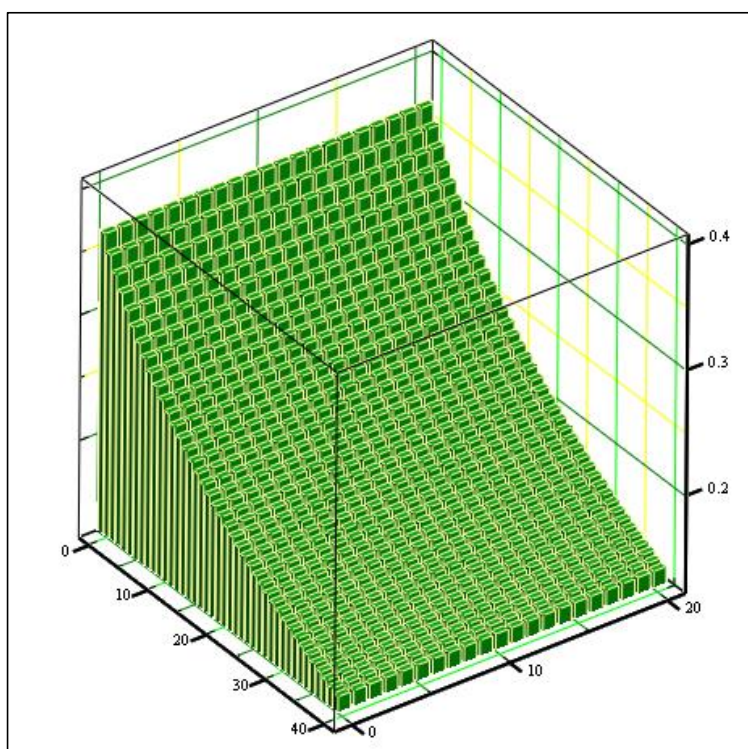
$$PC := 10132 \quad PM := 2330 \quad PM1 := 1710$$

$$n := 40 \quad m := 20 \quad Z1 := 10 \quad Z3 := 120$$

$$i := 0..n \quad j := 0..m \quad Z2 := \frac{Z1}{e} \quad Z4 := \frac{Z3}{e}$$

$$I1_i := 0.2 + 0.02i \quad I2_j := 0.95 + 0.0025j$$

$$\Phi_{i,j} := \mu V \cdot (PCT) \cdot \frac{\left[ Z3 \cdot KG2 \left( \ln \left( \frac{I1_i}{Z2} \right) - \frac{I10}{Z1} \right) - Z1 \cdot KG1 \left( \ln \left( \frac{I2_j}{Z4} \right) - \frac{I20}{Z3} \right) \right]}{PM \cdot D \cdot TC \cdot Z1 \cdot Z3 \cdot (KV2 \cdot KG1 - KG2 \cdot KV1)} \cdot 100$$



## Залежність вихідної напруги від відносної вологості газу

$$\Pi_0 := 1 \quad I_0 := 1$$

$$\mu V := 18.01610^{-3} \quad \mu G := 16.04310^{-3} \quad \rho G := 0.86 \quad \rho V := 0.749$$

$$PC := 10132 \quad D := 0.5 \quad K1 := 1.4 \quad TC := 293$$

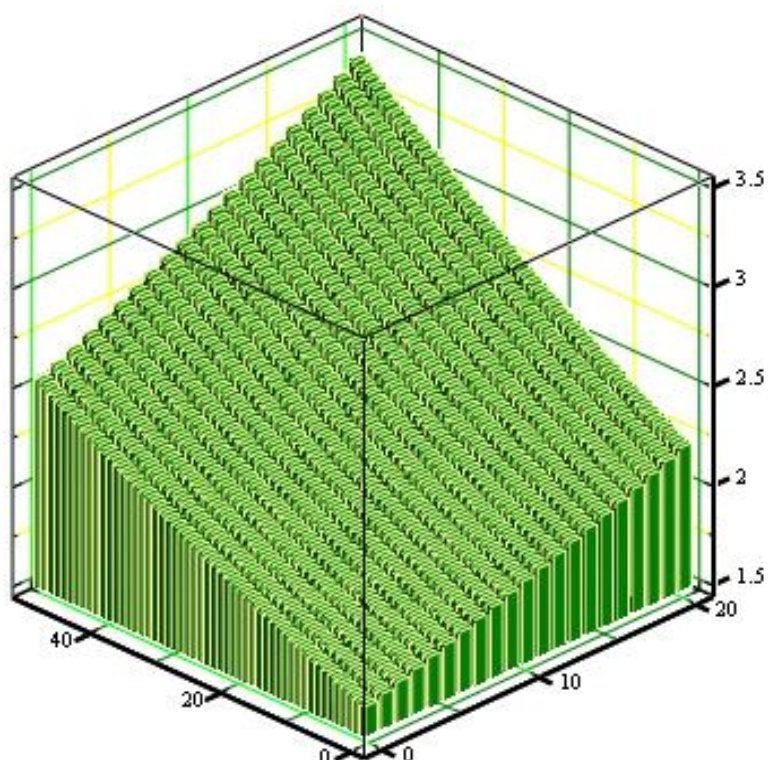
$$KG := 0.02 \quad KV := 17.1 \quad K2 := \frac{K1}{e}$$

$$n := 20 \quad m := 50 \quad P := 10132 \quad PM := 2330$$

$$i := 0..n \quad j := 0..m \quad T := 293$$

$$\Phi_i := 0 + 0.00125i \quad I_{0j} := 0 + 0.0125j$$

$$\Pi_{i,j} := K2 e^{\frac{I_{0j}}{K1} + K1 \cdot D \cdot \frac{TC}{PC \cdot T} \cdot \left[ KG \cdot \rho G \cdot \frac{(P - \Phi_i \cdot PM)}{\mu G} + KV \cdot \rho V \cdot \frac{\Phi_i \cdot PM}{\mu V} \right]}$$



## Характеристика аналізатора відносної вологості газу

$$I10:=1$$

$$I20:=1$$

$$\mu V:=18.01610^{-3}$$

$$\mu G:=16.04310^{-3}$$

$$\rho V:=0.749$$

$$\rho G:=0.86$$

$$U2:=1$$

$$U1:=5$$

$$D:=0.5$$

$$TC:=29$$

$$PC:=10132$$

$$P:=10132$$

$$PM:=2330$$

$$n:=40$$

$$m:=50$$

$$T:=29$$

$$i:=0..n$$

$$j:=0..m$$

$$KG1:=29$$

$$KV1:=171$$

$$I1_i:=4000+50i$$

$$I2_j:=4000+10j$$

$$KG2:=23.6$$

$$KV2:=18.1$$

$$Z1:=3.5$$

$$Z2:=\frac{Z1}{e}$$

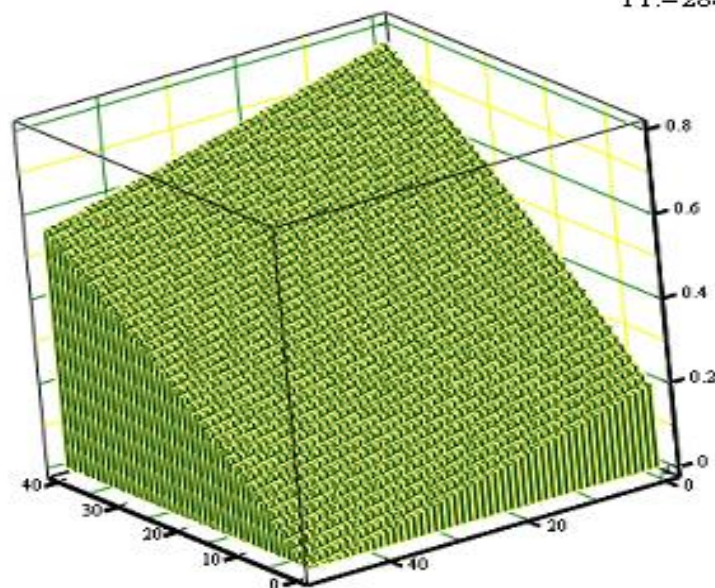
$$Z3:=2$$

$$Z4:=\frac{Z3}{e}$$

$$f:=400$$

$$\Phi_{i,j}:=\mu V \cdot (PCT) \cdot \frac{\left[ KG2 \left[ \ln \left[ \frac{I1_i \cdot U1 \cdot (Z1 \cdot U2)}{f} \right] \right] - KG1 \left[ \ln \left[ \frac{I2_j \cdot U1 \cdot (Z3 \cdot U2)}{f} \right] \right] \right]}{-PM \cdot D \cdot TC \cdot (KV2 \cdot KG1 - KG2 \cdot KV1)} \cdot 100$$

$$T1:=28$$



## Додаток Ж

### Лістинг керуючої програми

```

#include <Wire.h>
#include <Servo.h>
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <RF24_config.h>

void performMRCCommand(void) {
    I2C_TransferSeq_TypeDef seq;
    seq.addr = HYT_ADDR;
    seq.flags = I2C_FLAG_WRITE;
    seq.buf[0].len = 0;
    seq.buf[1].len = 0;
    I2CSPM_Transfer(I2C0, &seq);
}

int8_t performDFCommand(void) {
    I2C_TransferSeq_TypeDef seq;
    uint8_t I2CdataToRead[4];
    unsigned int tempRawData, humidityRawData;

    seq.addr = HYT_ADDR;
    seq.flags = I2C_FLAG_READ;
    seq.buf[0].data = I2CdataToRead;
    seq.buf[0].len = 4;
    seq.buf[1].len = 0;
    I2CSPM_Transfer(I2C0, &seq);

    uint8_t sensorCModeBit = (I2CdataToRead[0] & 0x80) >> 7;
    uint8_t sensorStateBit = (I2CdataToRead[0] & 0x40) >> 6;
    tempRawData = ((I2CdataToRead[2] << 8) | I2CdataToRead[3]) >> 2;
    humidityRawData = ((I2CdataToRead[0] & 0x3F) << 8) | I2CdataToRead[1];

    if (sensorCModeBit == 1) {
        return HYT_COMMAND_MODE;
    }
    if (tempRawData != 0 && humidityRawData != 0 && tempRawData < 0x3FFF

```

```
        && humididtyRawData < 0x3FFF) {  
if (sensorStateBit != 1) {  
    /* temperature as 14bit-value in the range from -40°C to +125°C */  
    temperature = ((float) (tempRawData) * 165.0F / 16383.0F) - 40.0F;  
    /* humidity as 14bit-value in the range from 0%rH to 100%rH */  
    humidity = (float) humididtyRawData * 100.0F / 16383.0F;  
} else {  
    /* No new value has been created since the last reading */  
}  
return HYT_IS_OK;  
} else {  
return HYT_ERROR;  
}  
}}
```

## Додаток Е

## Нормовані значення виробничих чинників

Таблиця Е.1 – Нормовані допустимі параметри мікроклімату [2]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Ia	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий	Ia	22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Таблиця Е.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр	Значення	Клас небезпеки
Метан	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	7000	4
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	0,15	4
Іони n <sup>+</sup> , n <sup>-</sup>	число іонів в 1 см <sup>3</sup> повітря	50000	–

Таблиця Е.3 – Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення та мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість при штучному освітленні, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	в	середній	середній	750	200	300	2	1,2



Таблиця Е.4 – Нормовані рівні звукового тиску та еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця Е.5 – Нормовані рівні віброприскорення [6]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
36	33	33	39	45	51	33

Таблиця Е.6 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна або кутова модуляція)

Номер діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль, $\lambda$	ГДР, В/м
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25
6	Гептаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3 \cdot \lg \lambda$
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30-300 МГц	10-1 м	3

Таблиця Е.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [11]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
2	REI 120	REI 60	E 15	EI 15	R 120	R 60	REI 45	REI 15	R 30
	M0	M0	M0	M0	M0	M0	M0	M0	M0

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 –  $M \leq 25$  см – для горизонтальних конструкцій;  $M \leq 40$  см – для вертикальних і похилих конструкцій; M2 –  $M > 25$  см – для горизонтальних конструкцій;  $M > 40$  см – для вертикальних і похилих конструкцій, нн – не нормується.

Таблиця Е.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [13]

Об'єм приміщення, тис. м <sup>3</sup>	Категорія пожежної безпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м <sup>2</sup>			Кількість людей на 1 м ширини евакуивходу	Протипожежні розриви, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м <sup>2</sup> , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	Б	2	40	25	15	45	9	9	12	6	н.о.	–	–

Примітки: н.о. – не обмежується, н.н. – не нормується.

Поз.позн	Найменування	К-ть	Примітки
	<u>Резистори</u>		
R1,R3,R6,R7,R9,R11,R14,R16,R19	300 Ohm 1/4 W 5%	7	
R2,R4,R8,R10,R12,R15,R18	10 KOhm 1/8 W 5%	7	
R5,R17	1 KOhm 1/4 W 5%	4	
	<u>Конденсатори</u>		
C1,C2,C3	470 pF 10% 5V	3	
	<u>Світлодіоди</u>		
LD1	LED1300-03	1	
LD2	LED1450-03	1	
	<u>Фотоприймачі</u>		
VD1	XUM2APCNL2R	1	
	<u>Мікросхеми</u>		
DD1,DD2	AT90S2328	2	
DD3	ATMEGA8-161	1	
DA1.1,DA1.2,DA2,DA3,DA5,DA6,DA8	LM358	7	
DA4,DA7	LM393 DR	2	
DA9	2X M512-DR1	3	
C4,C5	DC-DC ams1117	2	
K1,K2	KPO2916	2	

				<i>08-05.МКР.153.01.001 ПЕЗ</i>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Белоусов М.Р.				<b>Двоканальний Вимірювач вологості природного газу</b>  <b>Перелік елементів</b>	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Білинський Й.Й.						1	1
Реценз.	Городецька О.С.					<b>ВНТУ зр.МНТ- 18МІ</b>		
Н. контр.	Кравченко Ю.С.							
Затверд.	Білинський Й.Й.							

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кол.	Примітки
				<u>Документація</u>		
A3			08-05.МКР.001.00.003 СК	Складальне креслення	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	08-05.МКР.001.00.003	Плата друкована	1	
				Стандартні вироби		
		2		<u>Батарейка 5 V</u>	1	
		3		Мікропроцесор ATMEGA8-161	1	
		4		Мікросхема AT90S2328	2	
		5		Підсилювач LM358	5	
		6		Компаратор КРО2916	2	
		7		Індикатор 2X M512-DR1	1	
		8		Резистор 1 КОhm 1/4 W 5%	4	
		9		Резистор 300 Ohm 1/4 W 5%	7	
		10		Резистор 1 КОhm 1/8 W 5%	7	
		11		Світлодіод LED1300-03	1	
		12		Світлодіод LED1450-03	1	
		13		Фотодіод ХУМ2АРСНL2R	1	
		14		Конденсатор 470 pF 10% 5V	5	
		15		<u>Комутатор LM393 DR</u>	2	
		16		<u>Перетворювач USB RS232</u>	1	
				<u>Матеріали</u>		
				ПОС-61 ГОСТ 21931-76	25	а
				Фарба біла	5	а

					08-05.МКР.153.01.003		
<i>Из</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Плата</i>		
Розроб		Белоусов М.Р					
Перев.		Білинський Й.Й					
Реценз		Городецька О.С					
Н.контр.		Кравченко Ю.С					
Затв.		Білинський Й.Й			<i>Лист</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
						1	1
					<i>ВНТУ гр.МНТ-18мі</i>		