

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерство освіти і науки України
Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальної технологій
Мацькевич Станіслав Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.317.39
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення пристрою для контролю вологості природного газу

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

175 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка"

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня _____ Мацькевич С. І.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Біліщук В. Б., к.т.н., доцент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

_____ В. С. Цих

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 175 "Метрологія та вимірювальна техніка"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТЕМ

«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Мацькевичу Станіславу Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення пристрою для контролю вологості природного газу

керівник роботи, Біліщук В. Б., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 30 квітня 2025 року № 269/7

2. Строк подання студентом роботи 30 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: об'єкт дослідження – природний газ; діаметр газопроводу 219 мм; діапазон контролю вологості 0-10%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз існуючих методів вимірювання вологості газів і засобів. 2. Розроблення приладу для контролю вологості природного газу 3. Метрологічний аналіз і метрологічне забезпечення вимірювання вологості 4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Теоретичний плакат. 2. Структурна схема. 3. Електрична схема. 4. Конструкція давача. 5. Конструкція установки для калібрування.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
4	Кривенко Г. М., доцент		

7. Дата видачі завдання 9 червня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих методів вимірювання вологості газів і засобів	23.04.2025 р.	
2	Розроблення приладу для контролю вологості природного газу	23.04.2025 р.	
3	Метрологічний аналіз і метрологічне забезпечення вимірювання вологості	23.04.2025 р.	
4	Охорона праці	23.04.2025 р.	

Студент _____ Мацькевич С. І. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Біліщук В. Б. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 75 с., 13 рис., 5 табл., 4 додатки, 31 джерела, 5 аркушів креслень.

Об'єкт дослідження – природний газ, який протікає у газопроводі.

Мета роботи – розробка приладу для контролю вологості природного газу.

Встановлено, що зміна вологості природного газу призводить до зміни його діелектричної проникності, ця зміна діелектричної проникності визначається діелькометричним методом, в якому використовується ємнісний давач, між обкладками якого проходить контрольований природний газ.

ВОЛОГІСТЬ, ПРИРОДНИЙ ГАЗ, ГАЗОПРОВІД, ДІЕЛЬКОМЕТРИЧНИЙ, ЄМНІСТЬ, КОНДЕНСАТОР, КАЛІБРУВАННЯ, ДАВАЧ, ВТОРИННИЙ БЛОК.

ABSTRACT

Bachelor thesis: 75 p., 13 pictures, 5 tables, 4 appendixes, 27 sources, 5 sheets of drawings.

Object of study - natural gas flowing in the pipeline.

Purpose - to develop a system of natural gas humidity control.

The method of research - mathematical modeling of physical processes. It is established that changing moisture natural gas leads to a change in its dielectric constant, the change of the dielectric constant is determined by sample, which uses capacitive sensor plates between which is controlled natural gas.

HUMIDITY, NATURAL GAS, GAS, SAMPLE, CAPACITANCE CAPACITORS, CALIBRATION, SENSOR, SECONDARY BLOCKS.

Зміст

Вступ.....	9
1 Аналіз існуючих методів вимірювання вологості газів і засобів	12
1.1 Абсолютні методи.....	12
1.2 Фізичні методи	14
1.3 Аналіз приладів для вимірювання вологи природного газу.....	22
1.4 Порівняльний аналіз методів вимірювання вологості речовин та постановка завдання.....	26
2 Розроблення приладу для контролю вологості природного газу	29
2.1 Теоретичне обґрунтування діелькометричного методу	29
2.2 Розроблення структурної схеми вологоміра природного газу.....	34
2.3 Розрахунок електричних параметрів давача	36
2.4 Розроблення електричної принципової схеми	38
2.5 Розроблення методики проведення контролю вологості природного газу	45
3 Метрологічний аналіз і метрологічне забезпечення вимірювання вологості.....	47
3.1 Метрологічний аналіз вологоміра	47
3.2 Схема калібрування ємнісного давача.....	52
4 Охорона праці	55
4.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища.....	55

4.2	Забезпечення нормальних умов праці	56
4.3	Забезпечення безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання	59
	Висновки	64
	Перелік посилань на джерела	65

ВСТУП

Волога являється одним із обов'язкових компонентів всіх живих організмів на землі, оточуючої нас біосфери, а також більшості матеріалів і речовин, що використовує людина. Вміст вологи в оточуючому середовищі дає вплив на характер і інтенсивність, на процеси (біохімічних і фізико-хімічних), що проходять в живих об'єктах. Від вологості залежать хімічні, фізичні, технологічні і механічні властивості значної частини речовин. Майже у всіх галузях промисловості використовуються процеси сушки і зволоження, призначені для зміни вологості речовин і матеріалів. Тому кількісне визначення вологості необхідне в багатьох областях знань.

Важливе практичне значення має вимірювання вмісту вологи неводних рідин вуглеводнів, рослинних і мінеральних масел, нафтопродуктів, авіаційного і ракетного палив.

Різноманітні задачі пов'язані з вимірюванням вологості повітря, газу і газових сумішей. Волога у всіх трьох формах являється одною з найважливіших складових частин земної атмосфери, причому її склад змінюється в широких межах в часі і просторі.

Вологість повітря являється одним з основних технологічних параметрів в установках кондиціонування повітря, вентиляційних, сушильних і холодильних. В живих і виробничих приміщеннях вологість повітря один з факторів, визначаючих самопочуття людини, умови комфорту для неї.

Технологічні процеси хімічної промисловості висувають задачі контролю і регулювання вміст вологи чистих газів: азоту, вуглеводню, кисню, метану і ін. в багатьох випадках необхідно контролювати з високою точністю. Аналогічні задачі висуває електровакуумна промисловість і металургія (чорна, кольорова, в тому числі і рідких матеріалів і напівпровідників). Вміст вологи у вуглеводні і в

інших інертних газах складає досить малі величини, що потребує великої точності вимірювання.

Загальновідомий вплив вологості газу, що транспортується по газопроводу, на умови експлуатації і корозії трубопроводів. Від вологості газоподібного палива залежить його теплотворна здатність.

Вміст води в будь якій речовині характеризується її абсолютною або відносною вологістю.

Економічний ефект, який можна одержати у народному господарстві від достатньої точності контролю вологості використовуваних речовин, повітря і газів надзвичайно великий.

Донедавна дуже широко в промисловості та сільському господарстві застосовувались методи, що базувались на фізичному або хімічному розділенні води і сухої речовини з подальшим визначенням їх вагового або об'ємного співвідношення. Однак з часом постала необхідність використовувати значення вологості у якості нормативного показника при автоматизованому контролі і регулюванні неперервних технологічних процесів, що неможливо реалізувати, користуючись вище наведеними методами. Внаслідок цього, у вологометрії швидкими темпами почали розвиватись методи, суть яких полягає в опосередкованому вимірюванні функціонально пов'язаної з вологістю величини.

Щойно видобутий природний газ насичений парами води і важких вуглеводнів. Газ повинен пройти кілька стадій висушування для зниження вмісту водяних парів. Осушування природного газу має найважливіше значення для успішної роботи всієї системи підготовки газу та його транспортування до кінцевого споживача. Тому контроль вологості газу має велике значення на етапі його транспортування. Присутність водяної пари в концентраціях більше кількох десятих часток ppm може мати дуже неприємні наслідки. Термін служби трубопроводу визначається швидкістю корозії, яка напряму пов'язана з присутністю води в газі, оскільки вона сприяє окисленню. При дроселюванні газу через ефект Джоуля-Томсона утворюється водяний конденсат. Взаємодія конденсату води, CO_2 і H_2S призводить до виникнення корозії, і є однією з

основних причин розривів газопроводів. Інша проблема – утворення гідратів при появі конденсату води, які виводять з ладу контрольно-вимірвальні прилади та запірно-регулюючу арматуру. Гідрати є з'єднанням надлишкової води з парами рідких вуглеводнів, які можуть конденсуватися з газу при транспортуванні, утворюючи емульсії, які при робочому тиску являють собою тверді маси. Також перекачування води на тисячі кілометрів є просто збиткова.

Дана робота присвячена теоретичному обґрунтуванню вище згаданих методів і можливості реалізації одного із вибраних методів у розробленій системі контролю вологості природного газу.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ГАЗІВ І ЗАСОБІВ

В найзагальнішій класифікації методи вимірювання вологості речовин можна поділити на абсолютні, хімічні та фізичні. Абсолютні методи дозволяють визначити вміст вологи шляхом безпосереднього виділення води від основної маси речовини. В хімічних методах використовується ефект взаємодії води з хімічними реагентами. Фізичні методи базуються на визначенні кількості вологи без зміни її стану.

1.1 Абсолютні методи

Для вимірювання вологості абсолютними методами [1] можна застосовувати добре відомі і водночас прості екстракційні методи та метод висушування.

Метод висушування полягає у повітряно-тепловому осушуванні спеціально підготовленої проби досліджуваного матеріалу до досягнення рівноваги з оточуючим середовищем, що умовно вважається рівноцінним повному видаленню вологи. Вологість зразка при цьому визначається по різниці мас вологого та сухого зразка матеріалу. Основна похибка визначення вологості пов'язана з неповним видаленням вологи, втратою летучих компонентів і окислення речовини при висушуванні. В зв'язку з цим результати вимірювання залежатимуть від методики підготовки проби, способу і режиму висушування. Перевагою методу є простота та універсальність.

Екстракційний метод базується на видаленні вологи із досліджуваного зразка матеріалу водопоглинаючою речовиною (спирт, диоксан) з наступним визначенням рідкого екстракту (густини, показника заломлення, температури кипіння або замерзання і т. д.), які залежать від вмісту вологи. Перевагами цього

методу є малий вплив на результати визначення вологості інших фізичних характеристик матеріалу (густини, гранулометричного складу і ін.). До недоліків слід віднести залежність результатів від чистоти й дозування водопоглинаючої рідини, велика тривалість процесу вимірювання.

Дистиляційний метод полягає у відділенні води із досліджуваної речовини з розчинником, який утворює так звану азеотропну суміш із водою. З подальшим вловлюванням конденсованої вологи. Даний метод базується на відомій властивості деяких бінарних систем мати при постійному тиску мінімальну температуру кипіння. Якщо взяти суміш із двох компонентів, то кипіння суміші буде відбуватись при температурі, меншій температури кипіння кожного із окремих компонентів. Коли один із компонентів википить, то температура кипіння суміші буде відповідати температурі кипіння компонента, що залишився. Подібні суміші називаються азеотропними. Дана методика донедавна застосовувалась головним чином для вимірювання вологості нафти та нафтопродуктів.

Гравіметричний метод умовно можна розділити на метод відстоювання та метод центрифугування.

Метод відстоювання полягає у відстоюванні проби досліджуваної речовини (наприклад, газу) у вимірювальному циліндрі з подальшим вимірювання рівня розділу фаз.

Метод центрифугування полягає в розділенні певного об'єму проби у вимірювальному стакані, який розміщений по радіусу центрифуги. Аналітично процес осадження водяної фази можна описати такою системою математичних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dC}{dt} = V_i \frac{dC_i}{dr} - C_i \frac{dV_i}{dC} \cdot \frac{dC}{dr} - C_i \frac{dV_i}{dr}, & \text{для } r_{ip} \leq r \leq R - H; \\ \frac{dr_i}{dt} = V_i(r_{ip1} C_i d_i), & \text{для } r_0 \leq r \leq r_{ip}, \end{cases} \quad (1.1)$$

де V_i – швидкість осадження частинок i -тої функції; C_i – миттєве значення об'ємної концентрації функції; C – поточна концентрація водяної фази в шарі; r – поточне значення відстані від осі обертання до заданого шару; r_0 – відстань від

осі обертання до границі i -того шару; r_{ip} – відстань від осі обертання до границі поверхні стакану; $R - H$ – відстань від осі обертання до поверхні осадку; t – час; d_i – середній діаметр частинок даної функції.

Вологість речовини визначається по об'єму води, яка осіла на дні вимірювального стакану. Чутливість методу 0.5 %.

На підприємствах газової промисловості вологість природного газу вимірюють методом точки роси. Недоліками цього методу є: складність конструкції аналізаторів (наявність охолоджувального пристрою); зменшення точності вимірювання зі збільшенням відносної вологості; залежність результату вимірювань від чистоти робочої поверхні дзеркала.

1.2 Фізичні методи

Всі фізичні методи побудовані на принципі визначення вмісту вологи шляхом вимірювання функціонально пов'язаної з нею величини.

Оптичний метод вимірювання вологості даним методом базується на вимірюванні потоку випромінювання після його взаємодії з досліджуваним матеріалом. В результаті розсіювання і поглинання світла інтенсивність плоскої світлової хвилі і зменшується із відстанню по закону Бугера-Ламберта-Бера[9]:

$$I_{(r)} = I_0 e^{-\eta r}, \quad (1.2)$$

де η – показник ослаблення плоскої світлової хвилі; r – відстань від джерела світла до розглядуваної точки; I_0 – початкова інтенсивність світлової хвилі.

Сам показник послаблення являє собою алгебраїчну суму показника поглинання η_a та показника розсіювання η_s .

Показник поглинання може бути виражений через уявну частину комплексного показника заломлення середовища:

$$\eta_a = \frac{4\pi m''}{\lambda_0}, \quad (1.3)$$

де λ_0 – довжина світлової хвилі у вакуумі; m'' – коефіцієнт поглинання.

Використання пройденого шляху (метод пропускання) доцільно використовувати для різних оптично-прозорих речовин та матеріалів невеликої товщини. Для аналізу вологості світлорозсіюючих речовин необхідно досліджувати відбитий потік. У відбитому потоці випромінювання є дзеркальна складова, потік якої не пройшов ні через одну частинку контрольованої речовини, і дифузійна складова, потік якої багатократно пройшов через частинки і зазнав поглинання молекулами води. Дзеркальна складова практично не несе інформації про вологість речовини. Коефіцієнт дифузійного відбиття для моделі, яка являє собою нескінченний товстий шар речовини приблизно описується рівнянням Гуревича-Мунке [9].

$$R = 1 + \frac{R}{R_p} - \sqrt{\left(\frac{R}{R_p}\right)^2 + 2\frac{R}{R_p}}, \quad (1.4)$$

де R_p , R – константи розсіювання і поглинання.

Константа поглинання R зв'язана з вологістю такою залежністю:

$$R = l \cdot R_B W + R_0 (1 - W), \quad (1.5)$$

де R_0 , R_B – константи поглинання основної речовини та води; W – відносна вологість речовини; l – коефіцієнт, що враховує форму зв'язку молекул з основною речовиною.

Так, як величини R_0 і R_B є спектрально залежними, то вибором спектральної смуги випромінювання можна досягнути найбільшої точності та чутливості методу. Найбільшою чутливістю метод володіє в інфрачервоній області спектру [10].

В порівнянні з іншими методами спектроскопії, даний метод володіє перевагами по чутливості, точності, а найголовніше, практично не чутливий до домішок. Особливо перспективним в цьому плані є метод ядерної спектроскопії. Лазерні методи спектроскопії дозволяють досягнути високої чутливості і роздільної здатності спектра, що дуже важливо при визначенні води в газах, де смуги поглинання дуже вузькі [10].

Метод ядерного магнітного резонансу базується на поглинанні енергії

радіочастотного магнітного поля ядрами водню (протонами) із складу води, що знаходиться у речовині. Ядро атома водню можна змодельовати як заряджену кульку, яка володіє механічним і ядерним магнітним моментом і яка обертається навколо своєї осі. Якщо таку кульку помістити у постійне зовнішнє магнітне поле, то вона почне обертатись в напрямку силових ліній магнітного поля із кутовою швидкістю ω_0 [10]:

$$\omega_0 = \gamma \cdot H_0, \quad (1.6)$$

де γ – гіромагнітне відношення, яке характеризує відношення величини магнітного моменту ядра до його механічного моменту імпульса; H_0 – напруженість зовнішнього магнітного поля.

При дії на протон додаткового змінного радіочастотного поля, вектор напруженості H_1 якого коливається або обертається і перпендикулярний до вектора напруженості H_0 поля, на магнітний диполь діє пара сил, яка намагається змінити кут між вектором H_0 і вектором магнітного поля. Якщо при цьому частота і напруженість H_1 співпадають із кутовою швидкістю ω_0 і напрямком прицесії диполя, то настає явище ядерного магнітного резонансу. Інтенсивність поглинання досліджуваною речовиною енергії при цьому пропорційна числу протонів водню в одиниці об'єму досліджуваної речовини. Отже, по величині поглинання можна однозначно оцінити вміст вологи.

Для рідких речовин та сумішей тепловий метод вимірювання базується на залежності теплофізичних коефіцієнтів даної речовини від її вологості. Теплофізичні коефіцієнти можна розраховувати за формулою [11]:

$$\alpha = \frac{bR^2 \left(1 - \frac{\chi}{R^2}\right)}{T_f - T_0(\chi, t)}, \quad (1.7)$$

$$c\rho = \frac{\alpha(T_0 - T_f)}{2BR}, \quad (1.8)$$

де r – коефіцієнт форми; B – коефіцієнт що характеризує швидкість нагрівання; χ – координата точки, в якій виконується вимірювання температури; R – характеристичний розмір; T_n – температура поверхні зразка; T_0 – температура

навколишнього середовища; α – коефіцієнт теплопровідності; ρ – густина; c – питома ємність.

При використанні теплового методу необхідно враховувати такі обставини: при введенні тепла із зовнішнього джерела в потік аналізованої речовини рівень корисної інформації визначається ступенем зміни коефіцієнта тепловіддачі за рахунок впливу абсолютних змін теплофізичних властивостей і за рахунок впливу абсолютних змін, які викликаються впливом тепла в зоні обігріву. Необхідною умовою задовільної роботи теплових аналізаторів є постійна швидкість теплового потоку.

Для твердих речовин тепловий метод вимірювання вологості полягає у використанні залежності температури зразка матеріалу в процесі або після нагрівання від вологості, тобто на оцінці вологості матеріалу по енергії, яка затрачена на випаровування з матеріалу води при інтенсивному контактному висушуванні постійним потоком теплоти. Схема вимірювання вологості теплофізичним вологоміром показана на рис 1.1.

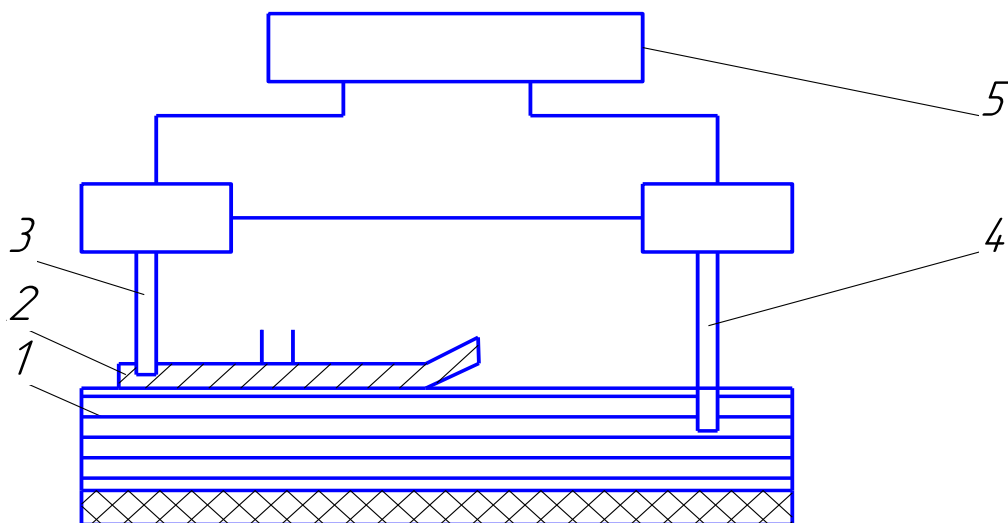
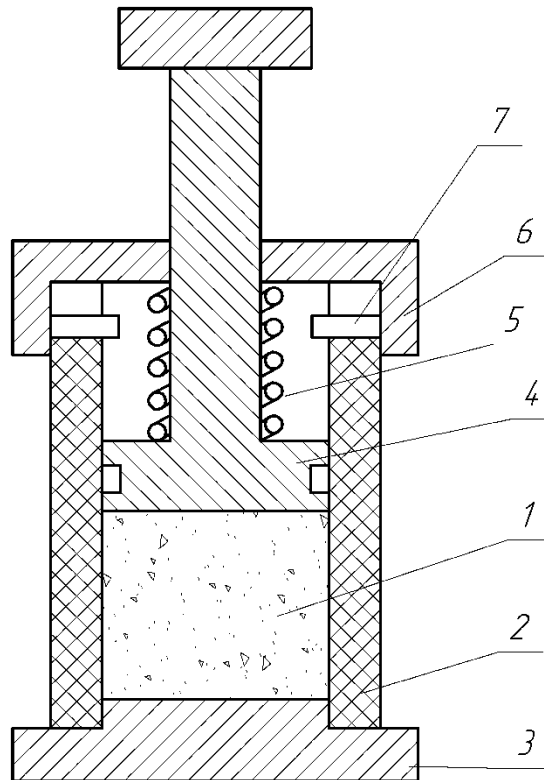


Рисунок 1.1 – Схема вимірювання вологості теплофізичним вологоміром

Даний вологомір містить пластину-нагрівач 2, яка живиться стабілізованим струмом, і два термоелектричних термометри 3 і 4 для вимірювання вологості по температурі сухого і зволоженого матеріалу. Замість температури контрольованого матеріалу 1 вимірюється температура пластини-нагрівача.

Потенціометр 5 призначений для вимірювання різниці температур нагрівальної пластини і вологого матеріалу незалежно від його попередньої температури. Покази таких теплофізичних вологомірів залежатимуть від густини і гранулометричного складу матеріалу, а також від ступеня налипання матеріалу на пластину.

В діелькометричному методі (рис 1.2) визначають зміну відносної діелектричної проникненість речовини від вологості.



1 — контрольований матеріал, 2 — циліндр з ізоляційного матеріалу, 3 — дно циліндра, 4 — поршень, 5 — пружина, 6 — кришка, 7 — затвор

Рисунок 1.2 – Конструкція давача вологості сипучих матеріалів

Відносна діелектрична проникненість речовини визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}, \quad (1.9)$$

де C , C_0 - ємність конденсатора, діелектриком в якого є досліджувана речовина або вакуум відповідно.

Відносна діелектрична проникність ε є величиною безрозмірною. На відміну від абсолютної діелектричної проникності ($\varepsilon_a = \varepsilon \varepsilon_0$, де ε_0 - діелектрична

проникність вакууму, і рівна $\epsilon_0 = 8,15 \cdot 10^{-12} \text{ } \hat{O}$).

Під дією електричного поля в діелектрику виникає струм зміщення, причому величина струму зміщення в діелектричній проникності речовини і прикладеному до обкладок конденсатора напруги, тобто, діелектрична проникність є мірою поляризації діелектрика і є константою, що відповідає певній речовині.

При вимірюванні вологості діелькометричним методом у вологомірах слід передбачити вплив на точність вимірювання таких факторів, як зміна густини, температури і тиску емульсії, хімічний склад дисперсного середовища і провідність фази, наявність емульгатора і вільного газу, осаду на електродах.

Справжнє значення діелектричної проникності суміші (ϵ_{CM}) повинно лежати між значеннями, що визначаються за формулами ("нерівності Вінера") [12]:

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^{i=m} \left(\frac{y_i}{\epsilon_{ri}} \right)} \leq \epsilon_{CM} \leq \sum_{i=1}^{i=m} y_i \cdot \epsilon_{ri}, \quad (1.10)$$

де ϵ_{ri} – діелектрична проникність компонентів суміші; y_i - об'ємна концентрація компонентів в суміші; m - число компонентів в суміші.

Для розрахунку діелектричної проникності суміші найбільш підходящою є формула Ліхтенекера [12] (логарифмічний закон зміщення):

$$\lg \epsilon_{CM} = \sum_{i=1}^{i=m} y_i \lg \epsilon_{ri}, \quad (1.11)$$

З вище приведених формул випливає, що за рахунок непостійності складу суміші, що проходить через вологомір, буде змінюватися діелектрична проникність суміші. Зміни діелектричної проникності суміші можуть внести суттєві похибки в результат вимірювання вологості.

Діелектрична проникність змінюється в залежності від частоти, так як з збільшенням частоти орієнтація диполів все більше не встигає за змінами зміною електричного поля. Частотну залежність діелектричної проникності зазвичай називають дисперсією діелектричної проникності. Залежність "ємність-частота" широко використовується для вимірювання вологості. В якості критерію

вологості використовують відношення низької (2 Гц) і звичайної промислової частоти (50 Гц) ємностей діелектрика при різних частотах – при одній же температурі.

Вплив зміни температури і тиску враховується за допомогою температурного (ТК) і барометричного (БК) коефіцієнтів діелектричної проникності [12].

$$TK_{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_{CM}} \cdot \frac{d\varepsilon_{CM}}{\delta T}, \quad (1.12)$$

$$BK_{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_{CM}} \cdot \frac{d\varepsilon_{CM}}{\delta p}, \quad (1.13)$$

Радіохвильовий метод вимірювання вологості базується на функціональній залежності поглинання і розсіювання енергії надвисокочастотних хвиль від вологості речовини. Його можна використати у зв'язку із тим, що радіохвилі, довжиною від 20 см до декількох міліметрів, охоплюють дисперсію води. Проходячи через вологу речовину, радіохвилі послаблюються, що виражається в зміні амплітуди випромінювання, і сповільнюються, що обумовлює фазовий зсув. Ці електричні характеристики (ε , $\text{tg}\delta$) перебувають у функціональному зв'язку із вмістом води [10].

Зміну параметрів радіохвилі, яка пройшла через вологий матеріал можна описати таким рівнянням:

$$N = 8,686(\alpha_B W \rho K l + IH - IH^{-2\alpha l} \cdot \cos 2\beta_2 l), \quad (1.14)$$

де N – вимірювальне згасання; α_B – коефіцієнт згасання води; W і ρ відносна вологість і густина матеріалу; K – емпірична константа, що враховує структуру речовини; l – товщина вологого матеріалу; IH – модуль коефіцієнта відбивання поверхні розділу повітря-матеріал; β_2 – фазове число вологого матеріалу.

Основною характеристикою методу є комплексний показник відбивання від досліджуваної речовини R :

$$R = |R| \cdot e^{j\varphi}, \quad (1.15)$$

$$|R| = \frac{1 - \sqrt{\varepsilon' - j\varepsilon''}}{(1 + \sqrt{\varepsilon' - j\varepsilon''})^2}, \quad (1.16)$$

де $|R|$ - модуль коефіцієнта відбивання R по потужності, який рівний відношенню відбитої потужності до падаючої; ε' , ε'' — дійсна і уявна складові комплексної діелектричної проникності; φ – кут між відбитою і падаючою хвилею.

Даного типу вологоміри мають високу чутливість, вони є без інерційні, безконтактні, менш чутливі до наявності домішок в матеріалі, ніж кондуктометричний метод.

До недоліків слід віднести великий вплив на точність вимірювання багатьох неінформативних параметрів (наприклад, густини і товщини шару матеріалу).

Радіаційний метод полягає у просвічуванні контрольованого об'єкту іонізуючим випромінюванням і фіксування ступеня послаблення спеціальним детектором [10].

При вимірюванні вологості рідких речовин та сумішей найбільшого поширення отримав метод нейтронного бомбардування. Суть його полягає в тому, що досліджувану речовину піддають впливу повільними нейтронами з метою викликати ядерні перетворення у атомів цих елементів, вміст яких треба визначити.

Вміст контрольованого (який став радіоактивним) елемента можна контролювати за допомогою відповідної радіометричної апаратури. Активність такого елемента можна розраховувати за формулою:

$$a = I_n \sigma_{ak} P_a \left(1 - e^{-\frac{0,693t}{T^{1/2}}} \right) \quad (1.17)$$

де σ_{ak} – поперечний переріз активації; I_n – потік нейтронів; P_a – число атомів елемента зразка; t – час просвічування; $T^{1/2}$ - період піврозпаду.

По способу детектування даний метод поділяється на радіографічний, радіоскопічний та радіометричний.

1.3 Аналіз приладів для вимірювання вологи природного газу

Аналізатори вологості природного газу на вузлах обліку повинні задовольняти таким вимогам:

- швидким відгуком;
- низькою похибкою і високою відтворюваністю результатів вимірювання;
- наявність вбудованих засобів перевірки правильності показань приладу без демонтажу і зупинки процесу.

У давачах дієлькометричних вологомірів (рис. 1.2) зразок матеріалу 1 вводять в циліндр 2 з ізоляційного матеріалу. Електродами служать дно циліндра 3 і поршень 4, навантажений каліброваною пружиною 5, яка впирається в кришку 6, що закріплюється на циліндрі затвором 7.

Давач, що застосовують для вимірювання вологості пилоподібного вугільного палива (рис. Б.1), має коаксіальні латунні електроди 1 і основу 2 з органічного скла. Верхня кришка 3 закриває датчик за допомогою байонетного затвора 4: і ущільнює постійну наважку матеріалу.

Аналізатор вологи Aurola (рис. В.1) корпорації GE реалізує метод абсорбційної спектроскопії на основі діодного лазера із змінною частотою TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy) для швидкого і точного вимірювання вологості природного газу. Аналізатор може бути встановлений в небезпечних зонах і працює в широкому діапазоні параметрів навколишнього середовища. Висока швидкодія аналізатора Aurola дозволяє своєчасно сигналізувати і реєструвати випадки виходу вмісту вологи в газі за встановлені значення. Після коректування збоїв у технологічному процесі і висушування газу, швидкий відгук приладу дозволяє видавати сигнал для подачі очищеного природного газу в "енергетичну мережу". Вологомір Aurola дозволяє в реальному масштабі часу контролювати вміст вологи в природному газі на технологічному і транспортному обладнанні з високою точністю і надійністю [13].

Вимірювання тиску парів води базується на законі Бера-Ламберта. При

певних конкретних частотах молекули води будуть абсорбувати світлову енергію, а при інших частотах газ практично прозорий. При даній частоті поглинання, при збільшенні концентрації парів води поглинання також збільшується. У вологомірі Auropa використовується діодний лазер, який змінює частоту у вузькій смузі частот в ближньому інфрачервоному спектрі. При цьому також здійснюється модуляція лазера на високій частоті. Вимірюючи інтенсивність пройшовшого випромінювання лазера за допомогою фотодетектора, вологомір Auropa забезпечує можливість прямого вимірювання парціального тиску парів води шляхом кореляції "втраченого" лазерного випромінювання з падаючим потоком світла.

Промінь лазера передається через оптичне вікно, проходить через контрольовану речовину і відбивається від дзеркала із золотим покриттям, потім повертається назад через вікно в фотодетектор. Так як тільки промінь світла "контактує" з технологічним газом, а всі компоненти системи, що контактують з аналізованим газом, виконані з інертних матеріалів, ця технологія вимірювання не призводить до дрейфу, який має місце у вологомірів з давачами, чутливі елементи яких контактують з аналізованим газом.

Можливості та переваги аналізатора Auropa: оптичний відгук менше 2 секунд; відсутність чутливості до таких компонентів, як гліколі та інші забруднювачі; покази безпосередньо в одиницях мг/м³, точка роси або ppmv; два цифрових порти RS 485/232 з можливістю зв'язку з віддаленим терміналом по протоколу Modbus - пряме з'єднання з цифровими системами диспетчерського управління та збору даних (SCADA-системи); висока надійність - розроблений для безперервної експлуатації протягом п'яти років до першого заводського обслуговування.

Вимірювач температури точки роси азоту та стисненого повітря ZDP100 оснащений виходом аналогового сигналу 4 ... 20 мА, що відображає значення температури точки роси. При бажанні, сигнал можна обробляти за допомогою опціонального пристрою Easylog, яке дозволяє як проводити запис показань (до 48000 значень), так і має вільні від напруги контакти. Іншою особливістю

ZDP100 є наявність регулятора подачі стисненого повітря або азоту в вимірювальну камеру. Регулятор може використовуватися для швидкої продувки вимірювальної камери з метою більш швидкої актуалізації показів давача [14].

Вологомір МГ-4Д (рис. В.4, табл. 1.1) призначений для контролю вологості у виробках. Принцип роботи приладу заснований на кореляційній залежності діелектричної проникності матеріалу від вмісту води. У приладі передбачена можливість введення дев'яти індивідуальних градувальних залежностей, встановлених користувачем [16].

Аналізатор мікрОВОЛОГИ природного газу ИВГ-1 (рис. В.5, табл. 1.2) призначений для оперативного контролю мікрОВОЛОГИ природного газу. Прилад складається з блоку вимірювання та індикації і виносного зонда, з'єднаного з ним за допомогою гнучкого кабелю з роз'ємом. Тип і конструктивне виконання зонда може змінюватися залежно від вирішуваних завдань. Існує можливість керування по одному з каналів. Індикація показів приладу здійснюється за допомогою світлодіодного індикатора, на якому одночасно відображаються: вологість (в градусах Цельсія по точці роси, ррт або у відсотках відносної вологості) і температура (в градусах Цельсія) [17].

Таблиця 1.1 – Технічні параметри вологоміра МГ-4Д

Діапазон вимірювання вологості, %	4...45
Основна абсолютна похибка, не більше, %	1,5...3
Живлення автономне, Вольт	6...9
Споживаний струм, не більше, мА	12
Зв'язок з комп'ютером	Інтерфейс RS-232
Габаритні розміри, мм:	
електронного блоку	175x90x30
перетворювача	Ø70x45
Маса приладу з перетворювачем не більше, кг	1,45

Таблиця 1.2 – Технічні параметри вологоміра ИВГ-1

Діапазон вимірювання мікрОВОЛОГИ, °С по точці роси	-80...+0
Діапазон індикації мікрОВОЛОГИ, °С по точці роси	-99...+40
Похибка вимірювання мікрОВОЛОГИ, °С по точці роси	± 2
Діапазон вимірювання температури, °С	-20...+40
Дискретність показань, °С	0,1
Похибка вимірювання температури, °С	± 1
Живлення приладу	220 ± 10 В, 50 ± 1 Гц
Споживана потужність, Вт, не більше	20
Габаритні розміри блоку вимірювання та індикації, мм	240 x 220 x 94
Габаритні розміри зонда, мм	27 x 200
Маса блоку вимірювання та індикації, кг	1,5

У приладі передбачена можливість установки порогів, при перевищенні яких подається світловий і звуковий сигнал і видається сигнал керування, а також є можливість програмної зміни рівня порога спрацьовування в часі. Прилад дозволяє в автономному режимі накопичувати інформацію по вимірюється параметрами і надалі виводити її на комп'ютер. Зв'язок з комп'ютером забезпечується інтерфейсом RS-232.

Разом з приладом поставляється комплект програмного забезпечення для роботи в комплексі з ІВМ-сумісними комп'ютерами під Windows і DOS. Програмне забезпечення дозволяє накопичувати дані в пам'яті і виводити їх на екран комп'ютера або на принтер у вигляді таблиці або графіка

Потоковий лазерний аналізатор вологості в природних і зріджених газах SS500 (рис. Г.2) використовують для визначення точки роси вологих газових сумішей, контролю якості природного газу, зріджених вуглеводневих газів, установки з переробки природного газу та попутного нафтового газів, аналізу димових і факельних газів, оцінки якості хлору, етилену, водню та інших газоподібних напівпродуктів. Аналізатор включає в себе вимірювальну комірку, через яку проходить газова проба, напівпровідниковий лазер, що пропускає

певну довжину хвилі через пробу, оптичний детектор, а також програмне забезпечення для аналізу і виводу результатів [18].

Таблиця 1.3 – Технічні параметри вологоміра SS500

Число вимірювальних комірок	1
Концентрація вимірюваного компонента	40...422 ppm
Точність вимірювання	±10 ppm
Точка роси	-50...-29 °C
Час відповіді	0,25...2 с
Робоча температура	-20...+50 °C
Максимальний тиск газу	0,5 атм
Потік газу	100...10000 см ³ /хв

1.4 Порівняльний аналіз методів вимірювання вологості речовин та постановка завдання

Як бачимо з вище приведеного, методів вимірювання вологості матеріалів та речовин є дуже велика кількість. З метою проведення детального аналізу, спробуємо класифікувати всі методи по основним критеріям, які покладені в основу їх роботи. Такими критеріями можуть служити:

- 1) які вимірювання реалізують дані методи: прямі чи опосередковані;
- 2) яке призначення всіх методів: для кількісного контролю чи для якісного встановлення факту наявності вологи в досліджуваній речовині;
- 3) де можуть використовуватись прилади, побудовані на даних методиках: в якості лабораторних (науково-дослідних) чи в якості поточних виробничих приладів.

Для зручності порівняльного аналізу класифікація методів за даними критеріями показана у вигляді табл. А1. (додаток А).

Характерною особливістю прямих методів (абсолютних та хімічних) є їхня висока точність. Однак вони мають багато суттєвих недоліків (великий час

проведення вимірювання, необхідність спеціального відбору проби, неможливість автоматизації), які змушують розробників відмовлятися від них. Дані методи були одними з найперших, які застосовувались для вимірювання вологості речовин. Через свої недоліки, а також дуже просту реалізацію, вони не представляють ні практичного інтересу в наш час, ні напрямку подальших теоретичних досліджень. Крім того, всі вони реалізуються в лабораторних умовах, що не відповідає тим вимогам. Які зараз ставляться до сучасних вологомірів.

Набагато ціннішими є методи, які реалізують непрямі (опосередковані) вимірювання вологості. Вони володіють рядом переваг, до яких перш за все слід віднести велику швидкодію при визначенні вологості, можливість автоматизації, нормативність, зручність в експлуатації такими приладами. Однак, аналізуючи недоліки таких методів, можна прийти до висновку, що основним недоліком опосередкованих методів є великий вплив на точність вимірювання багатьох неінформативних параметрів, як температура, густина досліджуваної речовини, її хімічний склад, розмір і склад частинок, нерівномірність розподілення вологи, наявність домішок та багатьох інших факторів.

Ефективність того чи іншого непрямого методу буде залежати від того, наскільки вдалось позбутись або врахувати вплив конкретних неінформативних параметрів. Від позитивного вирішення даної проблеми в значній мірі залежатиме висока точність здійснення процесу вимірювання вологості і, як наслідок, висока достовірність отриманого результату.

Однак, наукові дослідження, винаходи, покращення і створення принципово якісної елементної бази в тій чи іншій галузі сприяє подальшому розвитку тих методів вимірювання вологості, для яких дані досягнення можна ефективно вирішити.

При аналізі опосередкованих методів вимірювання вологості звертає на себе увагу те, що як і діелькометричні, так і радіохвильові методи побудовані на функціональній залежності вологості від діелектричних характеристик досліджуваних об'єктів. При цьому більшість авторів в науковій літературі

вважають ці методи принципово різними і розглядають кожний окремо й незалежно від іншого, однак деякі, бачачи їхню спільну суть, вважають радіохвильовий метод різновидністю діелькометричного.

В будь-якому випадку, аналізуючи теоретичні і практичні здобутки цих методів, приходимо до висновку, що вони є дуже перспективними, особливо стосовно точності вимірювань. Однак, для даних методів вимірювання вологості є ще досить багато завдань, які необхідно вирішити. Перш за все, це стосується необхідності створення ефективних способів подолання або врахування впливу факторів, які впливають на діелектричні характеристики, і несуть інформації про вологість.

Слід також відзначити, що елементна база для даних методів (особливо для діелькометричного методу) на даному етапі знаходиться на досить високому рівні, в зв'язку з чим є можливість створювати набагато чутливіші перетворювачі та набагато точніші і швидкодіючі системи обробки вимірювальної інформації.

Виходячи з таких та інших міркувань, сформулюємо завдання роботи:

- 1) теоретично обґрунтувати вибраний метод контролю вологості природного газу;
- 2) розробити структурну схему приладу для вимірювання вологості газу;
- 3) розробити і розрахувати електричну схему приладу для вимірювання вологості газу;
- 4) розрахувати і розробити конструкцію первинного перетворювача приладу;
- 5) розробити конструкцію діелькометричного вологоміра;
- 6) розробити методику контролю вологості природного газу;
- 7) здійснити метрологічний аналіз спроектованої установки;
- 8) розробити методику проведення контролю вологості природного газу розробленим приладом;
- 9) здійснити метрологічний аналіз розробленого приладу;
- 10) розробити необхідні заходи щодо безпеки та захисту при експлуатації приладу вимірювання вологості;
- 11) визначити економічну ефективність спроектованого приладу.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

2.1 Теоретичне обґрунтування діелькометричного методу

У діелькометричному методі використовують електричні коливання з частотами $f = 0,3 \div 30$ МГц. Геометричні розміри датчиків і інших елементів вимірювальних ланцюгів в такому частотному діапазоні значно менші довжини хвилі і їх можна розглядати як системи із зосередженими параметрами.

Діелектричний метод базується на вимірюванні ємності давача, в якому діелектриком між обкладками є досліджувана речовина.

Ємність конденсатора обраховується за формулою:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{\Delta}, \text{ пФ} \quad (2.1)$$

де ε – діелектрична проникність; ε_0 – діелектрична проникність вакууму; S – площа обкладок конденсатора, мм; Δ – відстані між обкладками конденсатора, мм.

Робота ємнісного сорбційного давача вологості газів заснована на принципі пропорційної залежності ємності від вологості вимірюваного середовища. В таких давачах застосовують одножилльні і багатожилльні провідники, які ізольовані і не ізольованих лаком і покриті шовковою ізоляцією в якості обкладок ємнісного сорбційного датчика. Ізоляція з шовку відрізняється гарною сорбційною здатністю і дозволяє істотно збільшити ємність і чутливість давача.

Діелектричну проникність середовища шовк - повітря - вода між обкладинками конденсатора знаходять з виразу Ліхтенеккера [19]:

$$\lg \varepsilon_{cm} = \beta_{ш} \lg \varepsilon_{ш} + \beta_{вз} \lg \varepsilon_{вз}, \quad (2.2)$$

де $\beta_{ш}$ – об'ємна концентрація шовку; $\varepsilon_{ш}$ – діелектрична проникність шовку; $\beta_{вз}$ – об'ємна концентрація повітря; $\varepsilon_{вз}$ – діелектрична проникність повітря.

Діелектричну проникність шовку при максимальній вологості газу

визначається за формулою Вінера.

$$\varepsilon_{\text{вн}} = \varepsilon_{\text{ш}} \left(1 + \frac{3W}{\frac{\varepsilon_{\text{в}} + 2\varepsilon_{\text{ш}}}{\varepsilon_{\text{в}} - \varepsilon_{\text{ш}}} - W} \right) \quad (2.3)$$

де W – вологість шовку, максимальна кількість вологи, яку може увібрати шовк, рівна 30%; $\varepsilon_{\text{в}}$ – діелектрична проникність води при 20°C

Діелектрична проникність в міжелектродному просторі при нульовій вологості газу:

$$\varepsilon_{\text{см}} = 10^{\beta_{\text{ш}} \lg \varepsilon_{\text{ш}} + \beta_{\text{в}} \lg \varepsilon_{\text{в}}} \quad (2.4)$$

При 100% -й вологості:

$$\varepsilon_{\text{см}} = 10^{\beta_{\text{вн}} \lg \varepsilon_{\text{вн}} + \beta_{\text{в}} \lg \varepsilon_{\text{в}}} \quad (2.5)$$

Сорбційно-ємнісний датчик вологості газів (рис. 2.1, 2.2) побудований у вигляді металевого стержня має додаткові прямокутні стінки, в які вкладається дріт з ізоляцією. Це дозволяє втричі збільшити значення просторової характеристики поля основного зазору і, отже, збільшити початкову ємність датчика [20].

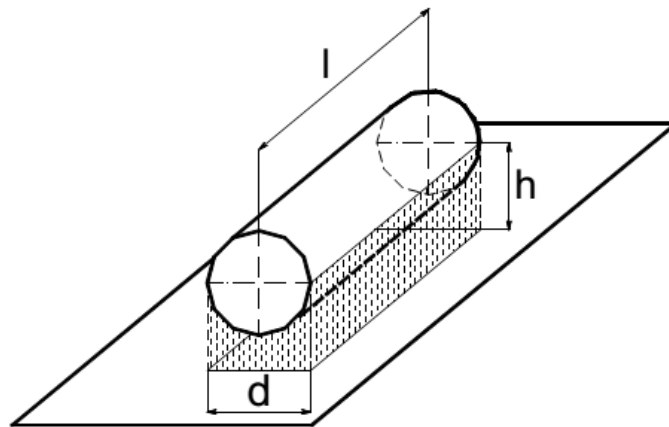
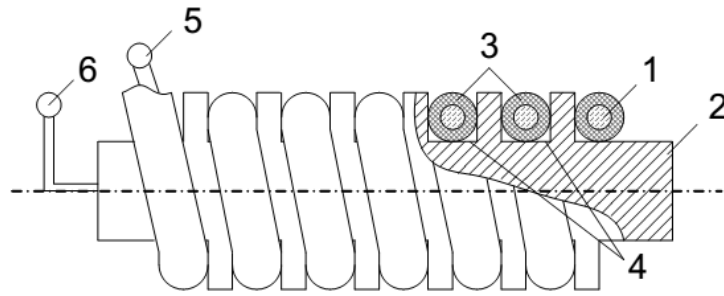


Рисунок 2.1 – Форма зазору між електродами датчика

Принцип роботи датчика наступний. Контрольований газ під час руху проникає між обкладинками в мікропори діелектричного сорбенту з шовку. При зміні вологості газу змінюється рівноважна вологість шовку, а отже, і його діелектрична проникність. Це викликає пропорційну зміну ємності датчика.



1 - перша обкладка; 2 - друга обкладка; 3 - шовкова ізоляція; 4 - пази прямокутної форми; 5 - клема першої обкладки; 6 - клема другий обкладки

Рисунок 2.2 – Сорбційно-ємнісний датчик вологості газів

Просторова характеристика поля основного зазору має вигляд паралелепіпеда без півциліндра:

$$g_r = \frac{2\pi l}{\ln\left(\frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 - 1}\right)}. \quad (2.6)$$

Ємність датчика при певній вологості газу:

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_{cm} g. \quad (2.7)$$

Чутливість датчика:

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta W}. \quad (2.8)$$

Для вимірювання ємності можуть використовувати балансні та мостові схеми. Балансні схеми простіші. Але вимагають великої стабільності амплітуди і частоти генератора з якого подається змінний струм на досліджуванні ланки. Тому доцільніше використовувати мостові схеми.

Розділяють мостові схеми на три групи: зрівноважені мости, незрівноважені і квазізрівноважені. В зрівноважених мостах відлік вимірювальної величини здійснюється за показниками змінних зразкових мір при рівності напруг на вимірюваному і зразковому опорах. В незрівноважених мостах, як правило, відсутні змінні величини і вимірювана величина визначається за відхиленням падіння напруги на ній від деякої сталої величини. Такий міст зрівноважений тільки при одному значенні вимірюваної величини. При інших її значеннях

виникає напруга нерівноваги, пропорційна приросту вимірюваної величини. Оскільки напруга нерівноваги залежить від величини напруги живлення схеми, незрівноважені мости придатні для невеликих змін вимірюваної величини.

В квазізрівноважених мостах регулюванням зразкової міри встановлюють певне співвідношення або зсув фаз між напругами на вимірюваному об'єкті і напругою живлення схеми. Квазізрівноважені мости також є незрівноваженими, але застосування спеціальних показчиків робить їх нечутливими до коливань напруги джерела живлення схеми. Однак в цьому випадку сам показчик повинен мати вимірювальні якості. Таким чином, незрівноважені і квазізрівноважені мости принципово відрізняються від зрівноважених і тому їх точність значно гірша.

Далі ми будемо розглядати тільки зрівноважені чотириплечі мостові схеми. Мости з індуктивним зв'язком докладно описані в літературі, наприклад, [31] і тому розглядатись тут не будуть. Слід лише відзначити, що в промислових зразках приладів цього типу (P589, P591, E8-2) досягнута точність не переважає точність приладу з чотириплечою універсальною мостовою схемою МІЕ-0,2. До того ж вимірювальна схема мостів з тісним індуктивним зв'язком значно складніша і дорожча.

В мостових схемах для порівняння з вимірюваним комплексним опором використовують в різних комбінаціях активні і реактивні зразкові міри. Тому в принципі можлива побудова великої кількості чотириплечих мостових схем. Вибір потрібної схеми є питанням першорядного значення, оскільки похибка і експлуатаційні якості приладу визначаються в основному мостовою схемою.

Незважаючи на те, що ємності і індуктивності можуть використовуватись як реактивні міри порівняння, необхідно запобігати застосуванню мостових схем з індуктивностями, тим більше, що мости із зразковими індуктивностями не мають ніяких переваг в порівнянні з мостами, в яких застосовані зразкові ємності. Тому при дальшому розгляді ми обмежимося групою мостових схем, що мають як зразкові міри ємності і активні опори. Зрозуміло також, що слід прагнути до вибору схеми з мінімальною кількістю зразкових елементів.

Крім цього, є група частотозалежних мостів, які при виборі певних

співвідношень елементів плеч стають частото-незалежними. Як приклад, розглянемо мостову схему, зображену на рисунку 2.3. Знайдемо умови рівноваги для цієї схеми. Відомо, що для цього добутки протилежних плеч повинні бути рівними.

$$\begin{aligned} \frac{R_X \frac{1}{j\omega C_X}}{R_X + \frac{1}{j\omega C_X}} \cdot \frac{R_3 \frac{1}{j\omega C_3}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}} &= \frac{R_2 \frac{1}{j\omega C_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} \cdot \frac{R_4 \frac{1}{j\omega C_4}}{R_4 + \frac{1}{j\omega C_4}}; \\ \frac{R_X R_3}{C_X C_3 \left(R_X + \frac{1}{j\omega C_X} \right) \left(R_3 + \frac{1}{j\omega C_3} \right)} &= \frac{R_2 R_4}{C_2 C_4 \left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right) \left(R_4 + \frac{1}{j\omega C_4} \right)}; \\ \frac{R_X R_3}{(1 + j\omega C_X R_X)(1 + j\omega C_3 R_3)} &= \frac{R_2 R_4}{(1 + j\omega C_2 R_2)(1 + j\omega C_4 R_4)}; \\ R_X R_3 (1 - \omega^2 C_2 C_4 R_2 R_4) + j\omega R_X R_3 (C_2 R_2 + C_4 R_4) &= \\ = R_2 R_4 (1 - \omega^2 C_X C_3 R_X R_3) + j\omega R_2 R_4 (C_X R_X + C_3 R_3). \end{aligned} \quad (2.9)$$

З (2.9), прирівнюючи дійсні і уявні частини, одержуємо

$$\begin{aligned} R_X R_3 &= R_2 R_4 + \omega^2 R_X R_2 R_3 R_4 (C_2 C_4 - C_X C_3); \\ R_X R_3 (C_2 R_2 + C_4 R_4) &= R_2 R_4 (C_X R_X + C_3 R_3). \end{aligned} \quad (2.10)$$

Рівність (2.10) є частототонезалежною у випадку, якщо

$$C_X C_3 = C_2 C_4 \quad (2.11)$$

І тоді

$$R_X R_3 = R_2 R_4. \quad (2.12)$$

Напруга на виході $U_{вих}$ незбалансованого моста описується таким виразом:

$$U_{вих} = \left(\frac{Z_X}{Z_X + Z_4} - \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \right) U_{вх}, \quad (2.13)$$

де Z_X, Z_2, Z_3, Z_4 — комплексні опори відповідних плечей моста, $U_{вх}$ — напруга живлення моста.

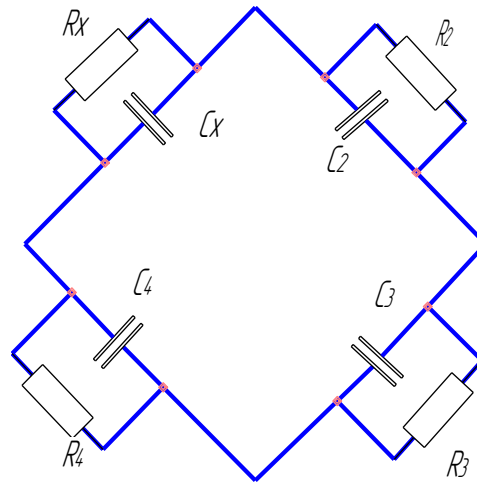


Рисунок 2.3 – Мостова схема

2.2 Розроблення структурної схеми вологоміра природного газу

В попередньому пункті було обґрунтовано, що доцільно для вимірювання вологості використати ємнісний мостовий давач. Цей давач повинен бути встановлений в газопровід на території газокompресорної станції або у інших відповідних пунктах у місці вторинного відводу газу. Його врізання у трубопровід повинно здійснюватися між двома запірними арматурами, які повинні перекриватись під час монтажних та пусконаладжувальних роботах. Оскільки, ємність має опір реактивного характеру, то живиться така схема змінним струмом. Джерелом змінного струму для живлення мостової схеми вимірювання ємності давача може служити низькочастотний генератор. Високовольтні генератори змінного струму для живлення ємнісного давача не підходять з тієї причини, що може виникнути електричний пробій між обкладками конденсатора, що недопустимо з точки зору вибухобезпечності. Конструкція давача повинна передбачати унеможливлення короткого замикання між обкладками ємнісного давача.

Сигнал розбалансу моста, який появляється при зміні ємності давача внаслідок зміни вологості природного газу і відповідно його діелектричної проникності виникає у вимірювальній діагоналі. Так як, електронні генератори

мають порівняно невелику амплітуду вихідного сигналу, тому і сигнал розбалансу моста буде досить малий, а значить для його обробки необхідний підсилювач змінного струму, причому диференціального типу.

Для того, щоб обробляти отриману інформацію про зміну вологості газу на основі вимірювання ємності давача сучасними електронними засобами цифрової техніки, сигнал після підсилювача змінного струму необхідно випрямити. Оскільки, в ролі випрямлячів використовуємо напівпровідникові діоди, у яких вольт амперна характеристика є нелінійною, то це вноситиме велику похибку при вимірюванні величини випрямленого сигналу, яка особливо проявляється при напрузі випрямленого струму до 0,5В. Для уникнення цієї похибки використаємо лінійний випрямляч на базі операційних підсилювачів, у яких діоди ввімкнені у зворотні зв'язки. За допомогою АЦП (аналогово-цифровий перетворювач) випрямлений сигнал потрібно, перетворити у цифровий код і подати на показуючий пристрій (або реєструючий), а також на ПЕОМ, яка збирає та обробляє інформацію.

Прилад контролю вологості природного газу складається із наступних окремих основних частин: ємнісного давача вологості, який вмонтовується у газовий трубопровід; електронного блоку, в якому розміщені всі складові крім ємнісного давача, блоку живлення; персонального комп'ютера, який здійснює оброблення електричного сигналу, що поступає з ємнісного давача згідно заданої програми.

Згідно структурної схеми окрім електричних вузлів прилад містить також пневматичні і механічні вузли, які у певному поєднанні створюють конструкцію приладу. Конструктивне виконання приладу здійснюється згідно наступних вимог: точності вимірювання, зручності у користуванні приладом, застосування деталей і вузлів простих для виготовлення і монтажу, максимальне застосування уніфікованих елементів.

Блок електронний служить для живлення ємнісного давача вологості і для перетворення електричного сигналу від давача у форму сприйнятну для персонального комп'ютера. В електронному блоці розміщені всі елементи

електричної принципової схеми, які скомпоновані у вигляді окремих функціонально закінчених блоків.

Основою конструкції є корпус, в якому кріпляться всі інші вузли і деталі приладу. Корпус виконує функцію основи для кріплення деталей і вузлів, простий по конструктивному виконанню. Корпус приладу складається з двох деталей складної форми, які з'єднують між собою шурупами. В корпусі приладу знаходяться блок мікроконтролера і блок індикації. Блок індикації є покупним і має вигляд завершеного виробу. Друкована плата блоку мікроконтролера має складну конфігурацію, що пов'язано із формою деталі корпусу, до якої вона кріпиться. На передній панелі приладу знаходяться: кнопки керування приладом і табло індикації показів вологості. На бічних поверхнях деталей корпусу приладу знаходяться отвори, через які встановлюють роз'єми давача, блоку живлення і персонального комп'ютера.

Оскільки блок електронний використовується у лабораторних умовах, тому його конструкцією не передбачається стійкість до температури, впливу вологи і не є вибухобезпечним.

2.3 Розрахунок електричних параметрів давача

Для розрахунку електричних параметрів давача, необхідно задатись початковими геометричними розмірами цього давача. Вибираємо згідно рис. 2.1 такі значення параметрів $h=2,5$ мм, $d=2$ мм, $l=400$ мм. При таких параметрах просторова характеристика давача згідно (2.6) рівна

$$g_r = \frac{2\pi \cdot 0,4}{\ln \left(\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - 1} \right)} = 4,8 m.$$

Розраховуємо діелектричну проникність шовку при максимальній вологості газу згідно (2.3)

$$\varepsilon_{\text{вн}} = 4 \left(1 + \frac{3 \cdot 0,3}{\frac{80,1 + 2 \cdot 4}{80,1 - 4} - 0,3} \right) = 8,2.$$

Згідно (2.4) знаходимо діелектричну проникність міжелектродного простору давача при нульовій вологості газу

$$\varepsilon_{\text{см}0} = 10^{0,75 \lg 4 + 0,25 \lg 1} = 2,82.$$

Згідно (2.5) знаходимо діелектричну проникність міжелектродного простору давача при 100% вологості газу

$$\varepsilon_{\text{см}} = 10^{0,75 \lg 8,2 + 0,25 \lg 1} = 4,85.$$

Згідно (2.7) розраховуємо ємність давача при нульовій і 100% вологості газу

$$C_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2,82 \cdot 4,8 = 119,8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф.}$$

$$C_{100} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4,85 \cdot 4,8 = 206 \cdot 10^{-12} \text{ Ф.}$$

Нехай при нульовій вологості міст буде збалансованим, тоді ємність конденсатора у іншому подільнику напруги має бути рівною 119,8 пФ. Конденсатор такої ємності можна отримати включивши паралельно конденсатор 100 пФ постійної ємності і підстроювальний конденсатор на 25 пФ. Опори резисторів в здавачі виберемо рівними $R=1$ кОм. Розрахуємо максимальне значення змінної напруги на виході давача при максимальній вологості використовуючи рівняння (2.13).

$$U_{\text{вих}} = \left(\frac{R}{\frac{1}{-j2\pi f C_{100}} + R} - \frac{R}{\frac{1}{-j2\pi f C_0} + R} \right) U_{\text{вх}} =$$

$$= \left(\frac{1 \cdot 10^3}{\frac{1}{-j2\pi \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 206 \cdot 10^{-12}} + 1 \cdot 10^3} - \frac{1 \cdot 10^3}{\frac{1}{-j2\pi \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 119,8 \cdot 10^{-12}} + 1 \cdot 10^3} \right) \times$$

$$\times 2 = 0,207 \text{ В.}$$

Ємнісний давач відповідної конструкції повинен бути встановлений в

газопровід на території газокompресорної станції або у інших відповідних пунктах у місці вторинного відводу газу, тому в нього передбачено фланці на вході і виході для монтування його до трубопроводу. Його врізання у трубопровід повинно здійснюватися між двома запірними арматурами, які повинні перекриватись під час монтажних та пусконаладжувальних роботах. Він виконаний у вигляді циліндра скінченої довжини. Від датчика відходять виводи з яких ми знімаємо покази значення вологості. За допомогою спеціальної фрези і стінці труби зроблений отвір в який вставляють відповідної форми діелектричну втулку, для того щоб газ під дією тиску не виходив назовні.

2.4 Розроблення електричної принципової схеми

Прилад для вимірювання вологості природного газу складається з генератора змінної напруги $DA1$, $C1 — C3$, $R1 — R8$. Генерування змінної напруги здійснюється спеціалізованою мікросхемою XR2206. Вона служить для побудови таких пристроїв: функціональних генераторів; генераторів коливної частоти; генераторів з амплітудною і частотною модуляцією; перетворювачів напруги в частоту; генераторів з FSK модуляцією та ін [21].

Основні особливості і параметри мікросхеми: малий (до 0,5%) коефіцієнт нелінійних спотворень синусоїдальної напруги; висока температурна стабільність частоти до 20 ppm/°C (або 0,02%/°C); широкий діапазон зміни частоти до 2000/1; мала чутливість до зміни напруги живлення; лінійна амплітудна модуляція; зміна несиметрії півхвиль в широких межах (від 1 до 99%); широкий діапазон можливих робочих напруг (від 10 до 26 В); помірна споживана потужність (не більше 750 мВт). Призначення виводів мікросхеми XR-2206 приведено в табл. 2.1.

За допомогою резистора $R3$, підключеного до виводу 3 мікросхеми, можна здійснювати плавне регулювання амплітуди трикутних імпульсів або синусоїдальної напруги. Їх залежність від значення $R3$ представлена на рис. Г.1.

З метою недопущення перевантаження вхідного підсилювача *DA4* вибираємо значення напруги живлення давача амплітудою 2 В. Згідно з рис. Г.1 опір резистора *R3* 33 кОм.

Таблиця 2.1 – Призначення виводів мікросхеми XR-2206.

№ виводу	Позначення	Призначення
1	AMSI	Вхід сигналу амплітудної модуляції
2	STO	Вихід гармонійного, або трикутного сигналу
3	MO	Вихід помножувача (Multiplier)
4	Vcc	Плюс напруги живлення
5	TC1	Підключення синхронуючого конденсатора
6	TC 2	Підключення синхронуючого конденсатора
7	TR1	Підключення синхронуючого резистора
8	TR2	Підключення синхронуючого резистора
9	FSKI	Вхід зсуву частоти
10	BIAS	Контроль внутрішньої напруги
11	SYNCO	Вихід синхронізації (з відкритим колектором)
12	GND	Земля
13	WAVE A1	Вхід регулювання форми сигналу 1
14	WAVEA2	Вхід регулювання форми сигналу 2
15	SYMA1	Вхід регулювання симетрії сигналу 1
16	SYMA2	Вхід регулювання симетрії сигналу 2

Частоту генерованих коливань мікросхемою *DA1* розраховують за виразом [21]

$$f = \frac{1}{R4C2}. \quad (2.14)$$

Вибираємо частоту генерованих коливань 200 кГц, ємність конденсатора *C2* 2 нФ, тоді опір резистора *R4* 2,4 кОм.

На виході мікросхеми *DA1* синусоїдальний сигнал має постійну складову

4,5 В. Цей рівень потрібно знизити до 2,5 В. Це здійснюють за допомогою подільника напруги $R7$, $R8$, $C4$. Коефіцієнт ділення дільника повинен складати $K=4,5/2,5=1,8$. Коефіцієнт ділення розраховують згідно формули

$$K = \frac{R8 + R7}{R8}. \quad (2.15)$$

Вибираємо опір резистора $R8$ 1,5 кОм, тоді опір резистора $R7$ буде рівним 1,2 кОм. Ємність конденсатора $C4$ вибираємо такою, щоб не послаблювалась змінна складова. При ємності конденсатора $C4$ 100 нФ, його реактивний опір на частоті 200 кГц рівний 8 Ом. Змінна складова подільником $R7$, $R8$, $C4$ при вибраних параметрах елементів практично не послаблюється.

Перед розрахунком підсилювача на мікросхемі $DA4$ потрібно розглянути основні характеристики аналого-цифрового перетворювача (АЦП) $DD1$. АЦП $DD1$ типу МСР3421 є 18-розрядним АЦП з I²C інтерфейсом. АЦП має такі опції: диференційний вхід, автоматичне калібрування внутрішнього зміщення та підсилення при кожному перетворенні, вбудоване джерело опорної напруги, похибка перетворення при вхідній напрузі 2,048 В±0,05%, вбудований підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення, програмовані параметри частоти перетворень даних (3,75 перетворень за с забезпечує розрядність 18 біт), підтримка інтерфейсу I²C із стандартним, швидким і пришвидшеним режимами [22].

МСР3421 є одноканальним з низьким рівнем шуму, високою точністю дельта-сигма АЦП з диференціальними входами і до 18 розрядів в невеликому SOT-23-6 корпусі. Вбудоване прецизійне джерело опорної напруги 2,048 В дозволяє отримати вхідний діапазон напруг ±2,048 В (різниця напруги = 4,096 В). АЦП використовує I²C сумісний послідовний двопровідний інтерфейс і працює від одного 2,7 В до 5,5 джерела живлення.

АЦП МСР3421 виконує перетворення при швидкостях 3,75, 15, 60 або 240 вибірок в секунду залежно від заданих налаштувань. Цей АЦП має вбудований підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення. Можна вибрати коефіцієнт підсилення з $x1$, $x2$, $x4$, $x8$ перед перетворенням аналогового сигналу

в цифровий. АЦП має два режими перетворення: постійний режим і режим One-Shot. У режимі One-Shot, АЦП автоматично переходить в режимі очікування після одного перетворення.

Максимальна напруга на вході АЦП не повинна перевищувати 2,048 В. Тоді підсилювач DA4 сигнал давача при максимальній вологості повинен підсилювати до цього рівня. Коефіцієнт підсилення підсилювача повинен становити $K=2,048/0,207=9,89$. Розглянемо детальніше використання мікросхеми MCP6N16 для побудови інструментальних підсилювачів.

MCP6N16 є інструментальним підсилювачем з нульовим дрейфом і призначений для роботи з однополярним живленням. Діапазон напруги живлення досить низька, щоб підтримувати безліч портативних додатків. Мікросхема має фільтри на входах, забезпечуючи послаблення електромагнітних завад. Внутрішня корекція зміщення забезпечує високу точність по постійному струму: має дуже мале зміщення і дрейф зміщення, і незначний шум. Два зовнішніх резисторів установки підсилення, зводячи до мінімуму похибки підсилення і дрейфу від зміни температури. Опорна напруга (V_{REF}) зміщує вихідну напругу (V_{OUT}). Використання інструментального підсилювача MCP6N16 дозволяє суттєво спростити схему і конструкцію приладу. Напругу на виході підсилювача розраховують згідно виразу [23]

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-})K + V_{REF}, \quad (2.16)$$

де V_{IN+} , V_{IN-} — напруги на неінвертуючому і інвертуючому входах підсилювача.

Коефіцієнт підсилення розраховують за формулою

$$K = 1 + R10/R11. \quad (2.17)$$

Звідси, вибравши опір резистора $R10=1,5$ кОм, для коефіцієнта підсилення $K=9,89$ опір резистора $R11$ повинен становити 13 кОм.

Функцію підсилення при використанні підсилювачів можна поєднати з функцією випрямлення в одному пристрої. Це зроблено завдяки використанню діода VD2. Так як діод має нелінійну передавальну характеристику, то для побудови лінійного випрямляча, його включають у коло зворотного зв'язку. Ввімкнення діода у коло зворотного зв'язку змінить коефіцієнт підсилення

підсилювача. Тому це потрібно врахувати при налагодженні приладу шляхом подачі тестових сигналів і змінити один опір одного з опорів $R10$ або $R11$. Інший шлях — коригувати значення при розрахунку вологості у мікропроцесорі шляхом введення у формулу розрахунку коригуючого коефіцієнта. Згладжування пульсацій відбувається за допомогою конденсатора $C10$.

Цифровий код, що відповідає виміряній вологості через послідовний інтерфейс I²C передається на мікроконтролер $DD2$ типу PIC16F866 [24]. Розглянемо принципи зв'язку цифрових мікросхем цим інтерфейсом.

Розглянемо принцип взаємодії АЦП MCP3421 з мікроконтролером. АЦП зв'язується з ведучим пристроєм (мікроконтролером) через послідовний I²C (Inter-Integrated Circuit) інтерфейс і підтримує стандартний (100 кбіт / сек), швидкий (400 кбіт / сек) і високошвидкісний (3,4 Мбіт / сек) режим.

АЦП може бути адресована тільки в якості ведомого пристрою. Після звернення, він може отримати біти конфігурації за допомогою команди запису або передачі останні результати перетворення з командою читання. Тактові вивід (SCL) є тільки входом і вивід послідовний даних (SDA) є двонаправленим. Ведомого пристрій починає здійснювати зв'язок, посылаючи стартовий біт і закінчується зв'язок, відправивши стоп-біт. У режимі читання, АЦП звільнює SDA лінію після отримання NAK і стоп-бітів.

Перший байт після стартового біта завжди є байтом адреси АЦП, який включає в себе код пристрою (4 біти), біти адреси (3 біта) і біт R/W. Код пристрій по MCP3421 є 1101, який запрограмований на заводі-виробнику. Після коду пристрою слідує три адресних біти (A_2 , A_1 , A_0), які також запрограмований на заводі-виробнику. Три адреса біти дозволяють адресувати до восьми MCP3421 пристроїв на одній лінії шини даних

Коли ведучий пристрій посилає байт адреси, з R/W біт низькою ($R/W=0$), MCP3421 очікує один байт конфігурації після адреси. Користувач може змінити режим роботи пристрою, написавши в регістр конфігурації бітів. Якщо пристрій отримує команду записи з новою установкою конфігурації, пристрій відразу ж починає нову конверсію і оновлює дані перетворення.

Коли ведучий пристрій посилає команду читання ($R/W=1$) АЦП виводить перетворенні дані і байт конфігурації. Кожен байт складається з 8 бітів і одного біта підтвердження (АСК). АСК біт після байта адреси видається АЦП і АСК біт після кожних даних перетворення байт, створюється ведучим пристрій.

Коли АЦП налаштовано для 18-бітного режиму перетворення, він виводить три байта даних і байт конфігурації. Перші 6 бітів даних в першому байті даних повторюються MSB (= знаковий біт) даних, перетворення. Користувач може ігнорувати перші 6 бітів даних.

Виведення інформації здійснюється на рідкокристалічний символний індикатор *HG1* типу *RWH1602B-YGH-CTK*. Керування індикатором відбувається за допомогою вбудованого контролера типу *HD44780* [27, 28]. Розглянемо принцип під'єднання цього контролера до мікроконтролера *DD2*.

Символьні рідкокристалічні індикатори з вбудованими контролерами набули широкого поширення в побутових приладах завдяки низькому енергоспоживанню, зручності і простоті застосування. Дворядковий символні індикатори на 8, 16 символів в рядку є найбільш дешевими і досить функціональними для реалізації багатьох завдань.

Розглянемо контролер РКІ *HD44780*, що використовується виробниками РКІ. Вхід/вихід *DB7* використовується для перевірки стану прапора шини (*BF*). Якщо $BF=1$ — виконується попередня інструкція, $BF=0$ — контролер може приймати наступну інструкцію. Читання *BF* виконується при $RS=0$, $R/W = 1$. *HD44780* може працювати в режимах з шириною шини даних в 4 і 8 біт. Це дозволяє економити виводи керуючих пристроїв, або збільшувати швидкість роботи з індикатором.

Першим етапом роботи з *HD44780* є ініціалізація. Ініціалізація виконується у певній послідовності. Після подачі на контролер напруги живлення необхідно витримати паузу в 15 мс, але через відмінності в характеристиках використовуваних джерел живлення рекомендована тривалість паузи 1-2 секунди. Послідовність подавання сигналів на контролер *HD44780* при використанні шини 4 біт є такою:

- 1) ввімкнення живлення;
- 2) пауза 1-2 секунди;
- 3) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=1;
- 4) пауза 4,1 мс.;
- 5) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=1;
- 6) пауза 100 мкс.;
- 7) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=1;
- 8) пауза 200 мкс.;
- 9) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=0 —
установка 4-х бітного інтерфейсу;
- 10) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=0 —
Установка 4-х бітного інтерфейсу, кількості рядків;
- 11) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=1, DB4=0;
- 12) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=N, DB6=F, DB5=*, DB4=*;
установка точок відображення символу;
- 13) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=0, DB4=0;
- 14) подача сигналів RS=0, R/W=0, DB7=0, DB6=0, DB5=0, DB4=1 —
дисплей ввімкнений.

Видача символної інформації на дисплей проводиться шляхом подачі інформації про відображуваний символ на інформаційні виводи та управління процесом запису за допомогою виводів RS, R / W і E.

Спочатку контролер отримує інформацію про адресу виведеного символу. Адреса початку першого рядка 0x80, другий - 0xC0, подальший зсув по рядках досягається збільшенням адреси.

Для виведення символу на дисплей виконується наступна послідовність дій:

- 1) подача сигналів RS = 0, R/W = 0, E = 1;
- 2) подача сигналів на інформаційні входи, які відповідають адресі;
- 3) пауза 50 мкс;
- 4) подача сигналів RS = 0, R/W = 0, E = 0;
- 5) пауза 255 мкс;

- 6) подача сигналів $RS = 1, R/W = 0, E = 1$;
- 7) подача сигналів на інформаційні входи, які відповідають коду символу;
- 8) пауза 50 мкс;
- 9) подача сигналів $RS = 1, R/W = 0, E = 0$.

В приладі передбачено встановлення зв'язку з персональним комп'ютером через інтерфейс RS232. Завдяки цьому прилад можна використовувати в автоматизованих системах збору інформації або керування. На виводах TX, RX мікроконтролера DD2 діють сигнали UART. Напруга цих сигналів змінюється від 0 В до 5 В. Зміна напруги інтерфейсу RS232 становить від -15 В до $+15$ В. Мікросхема DD3 використовується як перетворювач рівнів для узгодження рівнів напруг при підключення мікроконтролера до персонального комп'ютера.

Керування приладом здійснюють за допомогою кнопок SB1 — SB3. Кнопку SB1 використовують для ввімкнення або вимкнення процесу вимірювання вологості. Кнопки SB2 і SB3 використовують для налаштування годинника, який реалізований в мікроконтролері.

2.5 Розроблення методики проведення контролю вологості природного газу

1) Перед встановленням ємнісного давача запірні арматура повинна бути закритою.

2) Спеціальним газоаналізатором в місці монтажу давача має бути встановлена відсутність витоків газу.

3) Прилад з давачем попередньо повинні бути відкаліброваними. Методика калібрування входить в схему калібрування давача.

4) Перед встановленням давача потрібно перевірити його на чистоту внутрішніх деталей, на відсутність сторонніх предметів, на не пошкодженість деталей давача.

5) Вмонтовуємо давач в трубопровід.

- 6) Вторинний прилад встановлюємо в операторській а комп'ютер встановлюємо в диспетчерській між ними здійснюємо з'єднання.
- 7) Перевіряємо перед відкриттям запірної арматури: заземлення, відсутність короткого замикання в давачі.
- 8) Електричний опір в давачі повинен бути не менше 10 МОм.
- 9) Перевіряємо з'єднувальні кабелі на цілісність і справність ізоляції між окремими проводами.
- 10) Після монтажу давача перед відкриттям запірних арматур ще раз переконатися в працездатності системи в тому числі і роботи комп'ютера.
- 11) Після перевірки працездатності системи відкривається спочатку запірна арматура на виході ємнісного давача, а потім на вході.
- 12) Поточні покази вологості можна контролювати на цифровому табло вторинного електронного блоку, а збір інформації і її аналіз на комп'ютері.
- 13) При потребі демонтажу давача, наприклад для повірки, спочатку перекривається вхідна запірна арматура, а потім вихідна.
- 14) Регламентно-профілактичні роботи із наступною повіркою давача проводиться один раз на рік. Під час проведення даних робіт очистку давача потрібно проводити етиловим спиртом-ректифікатом.

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ І МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

3.1 Метрологічний аналіз вологоміра

Розглянемо тепер деякі загальні питання, що відносяться до градуювання і визначення похибки вологомірів і гігрометрів [30]. Як вже було вище сказано, більшість приладів для вимірювання вологості калібруються емпірично. При калібровці і перевірці цих приладів їх значення (y) звіряють з результатами визначення вологості зразковим методом (x). Допущені при градуюванні помилки не є одноразовими, а стають систематичними похибками каліброваного приладу.

Емпіричне градуювання зазвичай повинне вирішувати два завдання:

- 1) визначення калібрівочної залежності $y(x)$, що відповідає вимозі найбільш точної відповідності статистичним даним;
- 2) оцінка основної похибки градуйованого приладу.

При побудові градуювальної характеристики за експериментальними даними можливий різний підхід:

- 1) якщо розглядати цю характеристику як залежність випадкової залежної змінної y від невідповідної незалежної змінної x , можна застосувати для градуювання регресійний аналіз експериментальних даних. Це відповідає найбільш простому рішенню задачі і допустимо, якщо похибка зразкового методу досить мала (практично не більша $1/3$ похибки градуйованого вологоміра або гігрометра);
- 2) Якщо похибкою зразкового методу не можна нехтувати або якщо її значення не відоме, слід розглядати y і x як випадкові величини, між якими існує не регресійний, а кореляційний зв'язок.

У загальному випадку тісний зв'язок характеризує кореляційне відношення ρ_{xy} ($0 < \rho_{xy} < 1$); при лінійній формі зв'язку $\rho_{xy} = |r_{xy}|$ (r_{xy} - коефіцієнт парної кореляції

між y і x). Критерієм для вибору виду рівняння регресії може служити максимізація коефіцієнта детерміації ρ_2 , що визначає частину змінності y , обумовлену змінністю x . Величина $(1 - \rho_2)$ характеризує ту частину загальної дисперсії, причиною якої є інші величини, що впливають і не враховуються при градуванні. Для оцінки похибки вологоміра або гігрометра можна використовувати дисперсію $D(y/x)$ і довірчі інтервали градувальної характеристики, відповідні прийнятій довірчій вірогідності (наприклад, для вологомірів 0,95).

Форма зв'язку між y і x може бути лінійною або нелінійною. У широкому діапазоні вологості градувальна характеристика вологомірів і гігрометрів багатьох типів нелінійна.

У разі, коли рівняння регресії нелінійне щодо коефіцієнтів, його можна лінеаризувати за допомогою перетворень різних видів, наприклад логарифмічних. Якщо ж функція $y(x)$, нелінійна відносно x , лінійна щодо коефіцієнтів, доцільно застосувати параболічну апроксимацію. Відомо, що таку функцію можна апроксимувати на кінцевому інтервалі з будь-якою точністю параболою k -го порядку.

До опосередкованих вимірювань відносять такі, які базуються на прямих вимірюваннях з однократними спостереженнями. Величини, які при цьому однократно вимірюються, називаються вимірюваними аргументами. Передбачається, що залежність опосередковано вимірюваної величини y від аргументів x_1, x_2, \dots, x_m є відомою:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (3.1)$$

де m - кількість аргументів.

Обробка даних вказаної категорії вимірювань обумовлена формою представлення результатів вимірювань аргументів та видом залежності від них вимірюваної величини y . Результат опосередкованого вимірювання - це оцінка величини \bar{y} , що знаходиться шляхом підстановки у залежність (3.1) оцінок аргументів: $\bar{y} = f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m)$.

Для оцінки похибки результату опосередкованого вимірювання з

однократними спостереженнями суттєвим є вид залежності (3.1), яка може бути як лінійною, так і нелінійною.

У нашому випадку функція має нелінійний вид:

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon_{cm} \frac{2\pi l}{\ln \left(\frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d} \right)^2 - 1} \right)}. \quad (3.2)$$

Розглянемо оцінку похибки результату опосередкованого вимірювання для нелінійної залежності. В основі цієї оцінки лежить метод лінеаризації, тобто розкладу функції в ряд Тейлора і виділення лінійної частини ряду.

Розклад функції $f(3.1)$ в ряд Тейлора:

$$y = \bar{y} \pm \Delta_{\bar{y}}(\bar{y}) = f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m) \pm \left(\sum_{i=1}^m \frac{df(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m)}{d\bar{x}_j} \Delta x_j - R \right), \quad (3.3)$$

де R – параметр, який враховує залишковий член розкладу в ряд Тейлора, який розраховуємо так:

$$R = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{x}_j^2} \cdot \Delta x_j^2 + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{j-1} \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{x}_j \partial \bar{x}_i} \Delta x_j \Delta x_i. \quad (3.4)$$

Диференційний метод розрахунку використовують тоді, коли ЗВ (засіб вимірювання) описується або нелінійною функцією або на основі його статичної характеристики вцілому.

Суть диференційного методу полягає в тому, що абсолютну похибку визначають так:

$$\Delta y \approx \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_m} \Delta x_m, \quad (3.5)$$

де $\partial y / \partial x_m$ — частинні похідні функції (3.1) по аргументу x_m ; Δx_m - абсолютні похибки.

Залежність (3.5) отримана в результаті розкладу в ряд Тейлора функції y і нехтуванням членами, в яких Δx_m входить в другому і вищих порядках, при умові, що $\Delta x_i \ll x_i$.

Формула для визначення абсолютної похибки одноразового опосередкованого вимірювання значення ємності на основі (3.5) має вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta C = & \left(\frac{d}{dl} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \right) \Delta l + \frac{d}{d\varepsilon_{cm}} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta \varepsilon_{cm} + \\ & + \frac{d}{dd} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta d + \frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta h - R. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Критерій дозволу виконання лінеаризації залишковим членом визначається з умови:

$$R < 0,8 \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial \bar{x}_j} \right)^2 \cdot \sigma \bar{x}_j^2}. \quad (3.7)$$

Якщо умова (3.7) буде виконуватись то результат вимірювань слід розраховувати за формулою (3.9).

Оскільки закон розподілу невідомий, середньоквадратичні відхилення результату вимірювання визначають за формулами:

$$\sigma l = \frac{\Delta l}{z}; \quad \sigma \varepsilon_{cm} = \frac{\Delta \varepsilon_{cm}}{z}; \quad \sigma d = \frac{\Delta d}{z}; \quad \sigma h = \frac{\Delta h}{z}. \quad (3.8)$$

де z - коефіцієнт довіри, $z = 2,9814$ [31].

Запишемо значення абсолютних похибок, які отримали при вимірюваннях параметрів нашого давача (похибка виготовлення і контролю лінійних розмірів давача не перевищує 0,1 мм):

$$\Delta l = 0,1; \quad \Delta \varepsilon_{cm} = 0,01; \quad \Delta d = 0,1; \quad \Delta h = 0,1.$$

Розв'язавши (3.8), отримаємо:

$$\sigma l = 0,0335; \quad \sigma \varepsilon_{cm} = 3,354 \times 10^{-3}; \quad \sigma d = 0,0335; \quad \sigma h = 0,034.$$

Для перевірки умови (3.7) розрахуємо значення R_x , яке рівне:

$$\begin{aligned} R_x = & 0,8 \left(\left(\frac{d}{dl} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \right)^2 \sigma l^2 + \left(\frac{d}{d\varepsilon} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \right)^2 \sigma \varepsilon^2 + \right. \\ & \left. + \left(\frac{d}{dd} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \right)^2 \sigma d^2 + \left(\frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \right)^2 \sigma h^2 \right)^{1/2}. \end{aligned}$$

Отримаємо:

$$R_x = 8,24 \times 10^{-10}.$$

На основі формули (3.4) отримаємо формулу визначення залишкового члену

R для нашої залежності (3.2):

$$\begin{aligned}
R = & \frac{1}{2} \left(\frac{d^2}{d\pi^2} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) + \frac{d^2}{dl^2} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) + \frac{d^2}{d\varepsilon^2} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) + \right. \\
& + \frac{d^2}{d\varepsilon_0^2} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) + \frac{d^2}{dd^2} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) + \frac{d^2}{d\delta^2} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) + \\
& + \frac{d^2}{dh^2} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) + \frac{d}{d\pi} \frac{d}{dl} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\pi\Delta l + \frac{d}{d\pi} \frac{d}{d\varepsilon} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \times \\
& \times \Delta\pi\Delta\varepsilon + \frac{d}{d\pi} \frac{d}{d\varepsilon_0} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\pi\Delta\varepsilon_0 + \frac{d}{d\pi} \frac{d}{dd} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\pi\Delta d + \\
& + \frac{d}{d\pi} \frac{d}{d\delta} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\pi\Delta\delta + \frac{d}{d\pi} \frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\pi\Delta h + \\
& + \frac{d}{dl} \frac{d}{d\varepsilon} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta l \Delta\varepsilon + \frac{d}{dl} \frac{d}{d\varepsilon_0} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta l \Delta\varepsilon_0 + \\
& + \frac{d}{dl} \frac{d}{dd} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta l \Delta d + \frac{d}{dl} \frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta l \Delta h + \\
& + \frac{d}{d\varepsilon} \frac{d}{d\varepsilon_0} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\varepsilon \Delta\varepsilon_0 + \frac{d}{d\varepsilon} \frac{d}{dd} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\varepsilon \Delta d + \\
& + \frac{d}{d\varepsilon} \frac{d}{d\delta} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \times \Delta\varepsilon \Delta\delta + \frac{d}{d\varepsilon} \frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\varepsilon \Delta h + \\
& + \frac{d}{d\varepsilon_0} \frac{d}{dd} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\varepsilon_0 \Delta d + \frac{d}{d\varepsilon_0} \frac{d}{d\delta} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\varepsilon_0 \Delta\delta + \\
& + \frac{d}{d\varepsilon_0} \frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta\varepsilon_0 \Delta h + \frac{d}{dd} \frac{d}{d\delta} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta d \Delta\delta + \\
& + \frac{d}{dd} \frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta d \Delta h + \frac{d}{d\delta} \frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \times \Delta\delta \Delta h.
\end{aligned}$$

отримаємо:

$$R = 9,978 \times 10^{-9}$$

Отже, $R > R_x$.

Оскільки умова (3.7) не виконується, то похибку значення ємності знаходимо за формулою:

$$\Delta C = \left(\frac{d}{dl} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h)\right) \Delta l + \frac{d}{d\varepsilon} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta \varepsilon + \frac{d}{dd} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta d + \frac{d}{dh} C(\pi, l, \varepsilon, \varepsilon_0, d, \delta, h) \Delta h. \quad (3.9)$$

Отримаємо абсолютну похибку ємності:

$$\Delta C = 2,27 \times 10^{-9}.$$

Оскільки ймовірність нам невідома ми нею задаємося $P_{\text{зад}}=0,95$.

Відносну похибку тепер розрахуємо за такою формулою:

$$\delta_y = \frac{\Delta y}{y_{\text{id}}} \cdot 100\% \quad (3.10)$$

В нашому випадку дана формула набуде такого вигляду:

$$\delta_y = \frac{\Delta C}{C} \cdot 100\% \quad (3.11)$$

Підставивши вище розраховані дані отримаємо:

$$\delta_y = \frac{2,27 \cdot 10^{-9}}{2,081 \cdot 10^{-6}} \cdot 100 = 1,091 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0,1\%.$$

Кінцевий результат буде мати вигляд: $C = 2,081 \text{ мкФ} \pm 0,1\%$.

3.2 Схема калібрування ємнісного давача

Задачі метрологічного забезпечення вимірювань вологості виникли порівняно недавно, після того, як ці вимірювання зайняли місце однієї з галузей аналітичної техніки. Як і в інших галузях вимірювальної техніки, основним метрологічним завданням є збереження і підтримка точності і єдності вимірювань.

Метрологічна база вимірювань вологості у вигляді зразкових еталонів або еталонних установок і засобів передачі одиниць вимірювання до зразкових і робочих приладів в Україні і інших країнах знаходиться лише на стадії розвитку.

Метрологія вимірювань вологості тісно пов'язана із стандартизацією, зокрема з наступними її напрямками:

а) регламентація вмісту вологи різних матеріалів, що використовуються в народному господарстві; б) стандартизація методів аналітичного лабораторного контролю вологості; в) стандартизація фізичних методів вимірювання вологості і технічних засобів, заснованих на цих методах; г) стандартизація перевірочних схем, еталонів, зразкових методів, установок і речовин; д) створення єдиної термінології, системи одиниць вимірювання і стандартних довідкових даних в області вимірювання вологості.

Система державних стандартів, що відносяться до регламентації і визначень вологості, створювалася впродовж ряду років для різних окремо узятих матеріалів або груп матеріалів і містить істотні недоліки. Методики і апаратура цих визначень не уніфіковані; великі розбіжності є також в способах відбору і підготовки проб.

Для градування і перевірки вологомірів і гігрометрів найбільш важлива та обставина, що точність аналітичних методів у багатьох випадках не вище за точність градуйованого або такого, що повіряється приладу. В більшості випадків значення похибок лабораторних методів взагалі не відомі. Стандарти, що діють, як правило, нормують лише допустимі розбіжності між паралельними визначеннями вологості, частіше всього для двох проб, як це прийнято для нафти (ГОСТ 2477-65), зерна (ГОСТ 3040-55) і ряду інших матеріалів. Ці розбіжності характеризують, в кращому випадку, збіжність результатів визначень, але не можуть служити критерієм їх точності.

Фізичні методи вимірювання вологості і приладах, засновані на цих методах, дуже слабо представлені в стандартах. У більшості країн стандартизовані лише прості (кондуктометричні і, рідше, діелькометричні) вологоміри для зерна і деревини.

Для спрощення контролю вологості природного газу ми спроектований ємнісний давач варто відкалібрувати у відсотках вологості за допомогою розробленої функціональної схеми установки калібрування і метрологічної повірки давача. Калібрування давача відбувається у комплекті із вторинним електронним блоком.

Розглянемо схематичну будову установки. Дана установка складається із камери, яка є термостатичною і в якій розміщено: термометр для вимірювання температури в камері; прецизійний напівпровідниковий давач вологості фірми Valvo, який ми використовуємо як взірцевий для зняття показів вологості; спроектований ємнісний давач; осушувач, в якості якого можна використати силікагель; пневматичний компресор, який прокачує уже зволожений газ і вприскує його в камеру. Для зволоження стиснутого газу, який поступає з зовні, у камері розміщено розприскувач з'єднаний із посудиною з дистильованою водою.

Впускний кран газу, сопло розприскувача, компресор, ємнісний давач, давач фірми Valvo повинні бути розміщені на одній осі для зменшення похибки, яка зумовлена від нерівномірного розподілу вологи в камері. Крім впускного крану у камері є кран подачі газу для розприскувача і випускний кран газу.

Покази ємності ємнісного давача знімаються через з'єднувач, який вмонтований у стінці камери. В камері калібрування повинен бути передбачений люк для виймання і вставляння у камеру ємнісного давача. Калібрування можна здійснювати як на основі повітря, так і природного газу, але при використанні повітря збільшується похибка зумовлена різницею густини повітря і природного газу, а якщо використовувати природний газ, тоді потрібно забезпечити техніку безпеки виконання вимірювань.

При калібруванні значення вологості змінюємо від 0% до максимального значення вологості. Після закінчення калібрування (або перевірки) необхідно відкрити камеру, продути її теплим повітрям і помістити у камеру для остаточного осушення силікагель.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища.

Проведемо аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничих факторів, які можуть проявитись при реалізації спроектованого технологічного обладнання. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються за природою дії на організм людини на групи : фізичні, хімічні, біологічні, психофізичні (ГОСТ 12.0.003–74). Розглянемо фізичну та психофізичну групу факторів, так як решта не буде мати місце при реалізації спроектованого обладнання.

В роботі розробляється обладнання для контролю вологості природного газу. При експлуатації дієлькометричного вологоміра газу є небезпека ураження електричним струмом.

Профілактика електричної небезпеки ґрунтується на забезпеченні наступних мір:

- 1) недопустимість дотику людини до джерел струму;
- 2) пониження по мірі можливості напруги електричних установок до безпечних величин, використання індивідуальних засобів захисту;
- 3) використання захисного заземлення.

Характеристики потенційно небезпечних факторів згідно [22] наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз потенційно небезпечних виробничих факторів

Джерело небезпеки	Характеристика потенційно небезпечних факторів і їх допустимі значення
Електрообладнання	$I_y = 3\text{А}; U = 220\text{В}; f = 50\text{Гц}$
Лінія середнього та високого тиску	$P = 1,2 \div 10\text{МПа}$

Таблиця 4.2 – Характеристика шкідливих речовин

Назва речовини	ГДК в робочій зоні, мг/м ³	ГДК в атмосфері, мг/м ³
Природний газ	300	5
Бензин	100	1,5
Одорант	300	5

4.2 Забезпечення нормальних умов праці

Санітарно-побутове забезпечення полягає у влаштуванні виробничо-побутових будівель і приміщень для зберігання одягу, особистої гігієни, відпочинку, медичного обслуговування, приймання їжі. Номенклатура-санітарно-побутових приміщень згідно [22] наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Номенклатура санітарно-побутових приміщень

Назва приміщення	Найменування побутових пристроїв (обладнання)	Норма площі на одного працюючого	Кількість працюючих	Всього площі, м ²
Гардеробна	Шкаф двійний 50x40, шкаф одинарний розмір 50x33	0,9	3	2,7
Туалетні приміщення	1 унітаз на 15 чоловік	0,07	3	0,21
Умивальник	1 кран на 15 чоловік	0,05	3	0,15
Приміщення для обігріву відпочинку і приймання їжі	-	1	3	3

Вплив метеорологічних умов на організм людини, стан повітряного середовища робить вплив на життєдіяльність організму людини, його трудову діяльність і є важливою характеристикою санітарно-гігієнічних умов праці. Значне відхилення параметрів мікроклімату робочої зони від оптимальних умов можуть бути причинами ряду фізіологічних порушень в організмі працюючого, приводить до зниження працездатності.

Параметри мікроклімату робочої зони підприємств регламентуються нормативними документами [22]. Оптимальні значення метеорологічних умов у робочих зонах згідно [22] наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень

Характеристика приміщень	Категорія робіт	Період року	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура, °C
Операторна	Іа (легка фізична)	теплий	60-40	0,2	22-25
		холодний	60-40	0,2	20-23
	Іб (фізична середньої важкості)	теплий	60-40	0,4	20-22
		холодний	60-40	0,3	17-19

Вентиляція є головним засобом для створення нормальних метеорологічних умов. Оскільки може відбутися аварійний викид природного газу то крім природної вентиляції штучну. Характеристика вентиляції наведена в таблиця 4.5. [22].

Таблиця 4.5 – Характеристика вентиляції

Приміщення	Тип вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітрообміну, 1/год
Операторна	Приточно-втяжна з природним спонуканням	через втяжний шкаф	5
	Аварійна втяжка	даховий вентилятор Ц4-70N4 (n=2900 об/хв, тип двигуна АОЛ41-2 з потужністю N=5,5кВт)	10

Для забезпечення нормальних умов праці необхідним є використання штучного освітлення. Для штучного освітлення основною нормативною величиною є мінімальна освітленість робочих поверхонь в залежності від розряду і підрозряду зорової роботи. Характеристика штучного освітлення робочих місць згідно наведена в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Характеристика освітлення

Найменування приміщення або виду робіт	Розряд зорових робіт	Освітленість, лк				Типи світильників
		Загальна	Комбінована	Аварійна	Евакуаційна	
Операторна	III,в	400	450	7,5	-	НПО з лампами розжарення

Перелік засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) згідно [22] приведений в

таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Засоби індивідуального захисту робітників

Шкідливий виробничий фактор	Призначення ЗІЗ	Назва ЗІЗ (марка, характеристика)	Професія працюючого
Шум з перевищенням ГДР до 10 дБ	Захист органів слуху	Протишумові вкладиш і “Беруши” ТУ-16-2402-80	Слюсар-монтажник

4.3 Забезпечення безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання

З метою забезпечення безпеки технологічного процесу, монтажу та експлуатації установки для вимірювання вологості природного газу необхідно дотримуватись наступних вимог:

- 1) до монтажу, огляду, експлуатації, технологічного обслуговування, ремонту і випробовувань пристроїв, які входять в систему витратовимірювальної установки, допускаються особи, які вивчили технічний опис та інструкцію по техніці безпеки при роботі з електротехнічними установками та радіоелектричною апаратурою, а також лініями високого та середнього тиску;
- 2) в системі є електричні кола, які знаходяться під небезпечною напругою 220В;
- 3) категорично забороняється експлуатація пристроїв системи при знятих кришках і кожухах, а також при відсутності заземлення корпусів приладів і електродвигунів;
- 4) всі вимірювальні прилади, які використовують для знаходження поломок, огляду і інших роботах, повинні мати надійне заземлення;

5) всі види технологічного обслуговування, які пов'язані з перепайкою елементів, розпайкою кабелів, проводів і іншого, проводиться тільки при відключеному від мережі змінного струму;

б) не допускається експлуатація обладнання з нещільно вставленим роз'єднувачем і з неущільненими кабелями.

Технічні заходи захисту згідно [22] приведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Технічні заходи захисту від виявлення потенційно небезпечних виробничих факторів

Небезпечні фактори виробничого середовища	Проектуючий або вибраний захисний спосіб	Технічна характеристика пристрою або засобу	Місце встановлення на плані або агрегаті, терміни використання
Небезпека електротравматизму	Ізоляція	Опір ізоляції не менше 0,5МОм	Встановлюється на токоведучих елементах
	Захисні кожухи, щитки, екрани		Встановлюється на токоведучих елементах
	Захисне заземлення	Опір захисного заземлення менший або рівний 10 Ом	Заземлюються проєктований прилад і інше електрообладнання

З метою зменшення величини струму, який може пройти через людину в разі її дотику до корпусів електричного обладнання використовуються захисні заземлення. Розрахуємо необхідне значення параметрів захисного заземлення згідно [21,25]

Для заземлення вибираємо вертикальні заземлювачі занурені в ґрунт і з'єднані горизонтальною смугою (рис. 4.1). Опір одного вертикального заземлювача (рис. 4.2):

$$R_B = \frac{\rho_{роз.в.}}{2\pi l} \left(\ln\left(\frac{2l}{d}\right) + 0.5 \ln\left(\frac{4t+l}{4t-l}\right) \right), \quad (4.1)$$

де t — відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м; l , d — довжина і діаметр стержня, м (рис. 4.2); $\rho_{роз.в.}$ — розрахунковий питомий опір ґрунту, який розраховується за формулою:

$$\rho_{роз.в.} = \rho \Psi_v, \quad (4.2)$$

де ρ — питомий опір ґрунту ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); Ψ_v — коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів (для II кліматичної зони нормальною вологістю він рівний 1.5 [22]).

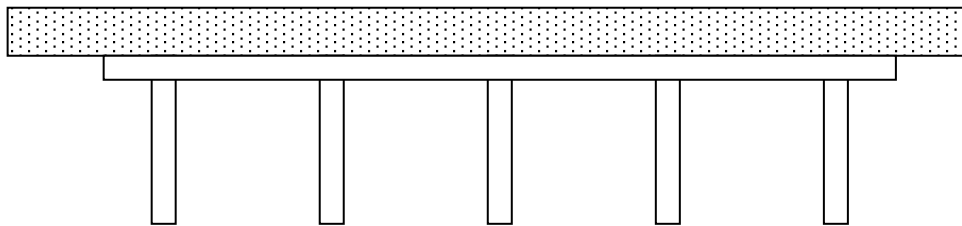


Рисунок 4.1 – Схема розміщення заземлювачів

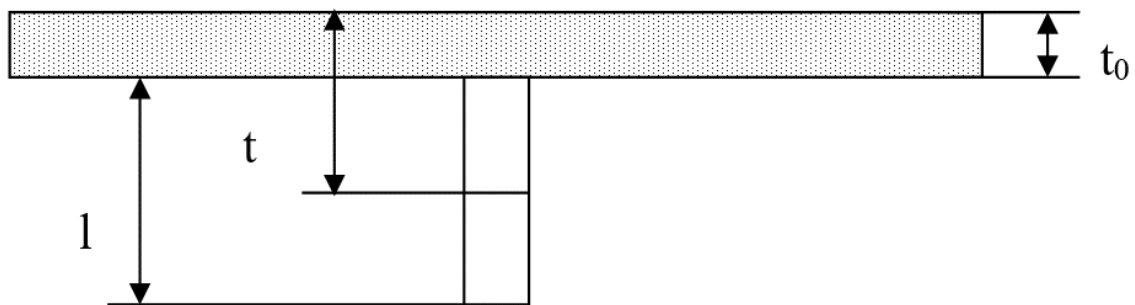


Рисунок 4.2. - Схема розміщення вертикального заземлювача.

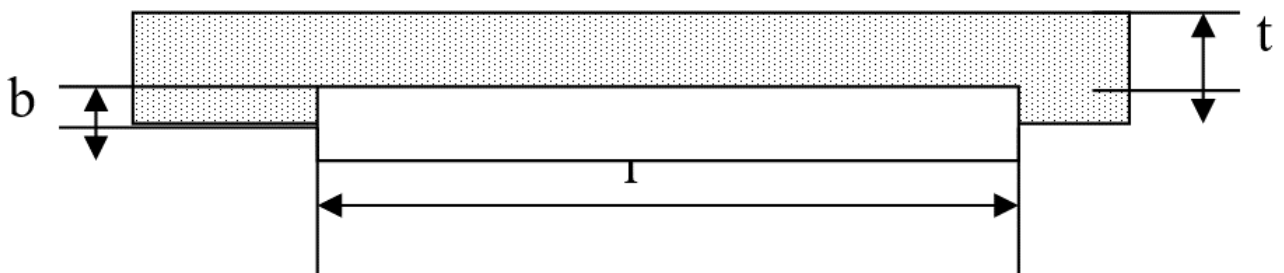


Рисунок 4.3. - Схема розміщення горизонтального заземлювача

Вибираємо: $l = 2.5 \text{ м}$; $d = 0,08 \text{ м}$; $t_0 = 0,7 \text{ м}$;

$t = 0,5 \cdot l + t_0 = 0,5 \cdot 2,5 + 0,7 = 1,95 \text{ м}$.

Звідси:

$$R_B = \frac{100 \cdot 1.5}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 2.5}{0.08} \right) + 0.5 \ln \left(\frac{4 \cdot 1.95 + 2.5}{4 \cdot 1.95 - 2.5} \right) \right] = 43 \text{ Ом}$$

Опір смуги, що з'єднує електроди (Рис. 4.3):

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{роз.з.}}}{2\pi d} \cdot \ln \frac{l^2}{dt}, \quad (4.3)$$

де $d = 0,5$ м; b — ширина смуги, м; d — довжина смуги, м; t — відстань від поверхні ґрунту до середини смуги, м;

$$\rho_{\text{роз.з.}} = \rho \Psi_\Gamma, \quad (4.4)$$

Коефіцієнт сезонності Ψ_Γ горизонтального заземлювача для II кліматичної зони з нормальною вологістю дорівнює 3,5 [22].

Вибираємо $l = 10$ м; $b = 0,08$; $d = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,08 = 0,04$ м, $t = 1,95$ м. Звідси:

$$R_\Gamma = \frac{100 \cdot 3,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 10} \ln \left(\frac{10^2}{0,04 \cdot 1,95} \right) = 40 \text{ Ом}$$

Кількість вертикальних заземлювачів дорівнює:

$$n = \frac{R_B}{R_{\text{доп}} \eta_B} \quad (4.5)$$

де $R_{\text{доп}}$ — допустимий по нормах опір заземлення (згідно [22] для $P > 100$ кВт, $R < 10$ Ом); η_B - коефіцієнт використання вертикального заземлювача.

Орієнтована кількість заземлювачів (при $\eta_B = 1$) дорівнює:

$$n = \frac{43}{10 \cdot 1} = 4,3 \text{ шт}$$

Кінцева кількість заземлювачів (при $\eta_B = 0,77$ для $n = 6$) дорівнює:

$$n = \frac{43}{10 \cdot 0,77} = 5,88 \text{ шт} = 6 \text{ шт}$$

Загальний опір заземлювача:

$$R = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \eta_B + R_\Gamma \eta_\Gamma n}, \quad (4.6)$$

де η_Γ — коефіцієнт використання горизонтального заземлювача ($\eta_\Gamma = 0,84$).

Звідси

$$R = \frac{40 \cdot 43}{40 \cdot 0,77 + 43 \cdot 0,84 \cdot 6} = 6,95 \text{ Ом}$$

Отже розрахований опір вибраної системи заземлювачів $R < 10 \text{ Ом}$, що відповідає нормам ПУЕ.

4.4 Висновки до розділу

В даному розділі бакалаврської роботи розглянуто нормативно-правове забезпечення охорони праці на виробництві. Розглянуто основні небезпечні фактори виробництва і заходи щодо їх попередження. Розроблено рекомендації забезпечення нормальних умов праці. Здійснено розрахунок захисного заземлення.

ВИСНОВКИ

Як видно з розділу 1, методів і засобів вимірювання вологості є дуже велика кількість. Але на даний час набагато ціннішими є методи, які реалізують непрямі (опосередковані) вимірювання вологості. Вони володіють рядом переваг, до яких перш за все слід віднести велику швидкість проходження процесу вимірювання, малу енергоємність, можливість автоматизації, нормативність, зручність в користуванні такими приладами.

Здійснено теоретичне обґрунтування вибраного методу вологості. Встановлено аналітичну залежність ємності, яка виступає в якості інформативного параметру діелькометричного методу вимірювання вологості.

Розроблено конструкцію вологоміра, основними блоками якого є: ємнісний давач, який безпосередньо вмонтовується в газопровід, вторинний блок, на якому можна стежити за зміною значення вологості в трубопроводі і персональний комп'ютер, на якому здійснюється аналіз і обробка даних.

Здійснено також метрологічний аналіз вологоміра. Розроблено схему калібрування ємнісного давача вологоміра. Для спрощення контролю вологості природного газу ми запропонували спроектований ємнісний давач прокалібрувати у відсотках вологості за допомогою розробленої функціональної схеми установки калібрування і метрологічної повірки давача. Калібрування давача відбувається у комплекті із вторинним електронним блоком.

Здійснено аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища, забезпечення нормальних умов праці і безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

- 1 Митчел А. Акватметрия. – М.: Химия, 1983. 520 с.
- 2 Гольцов А. С. Исследование принципов и методов измерения качества природного газа. / А. С. Гольцов, М. П. Володин – Збірник тез доповідей ІХ научно-практической конференции ППС ВПИ «Путь к разработке и внедрению оригинальных идей в науке и образовании».
- 3 Кисилев А. В. Молекулярные основы адсорбционной хроматографии. / А. В.Кисилев, Д. П.Поликусов, Я. И. Яшин – М.: Химия, 1986. – 272с.
- 4 Колесникова Л.П. Газовая хроматография в исследованиях природных газов, нефтей и конденсатов. – Н.: Недра, 1972. – 136 с.
- 5 Кулаков М.В. Технические измерения и приборы для химических производств. Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1974. 464с.
- 6 Сакодынський К.И. Полимерные сорбенты для молекулярной хроматографии. / К.И.Сакодынський, Л.И. Панина– М.: Наука, 1977. -168с.
- 7 Исакович Р.Я. Технические измерения и приборы. Изд. 2-е., – М.: Недра, 1979. 344с.
- 8 Мухамедзяков С. М. Современные приборы и методы измерения влажности. Изд. Азербайджанского института нефти и химии, 1989. 52с.
- 9 Мирошников М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. – Л.: Машиностроение, 1977. – 600с.
- 10 Викторов В. А. Радиоволновые измерение параметров технологических процессов. / В. А. Викторов, Б. В. Лупкин, А.С. Совлупов – М.: Энергоатомиздат, 1986 – 208с.
- 11 Эме Ф. Диэлектрические измерения. – М.: Энергия, 1970. 375с.
- 12 Берлинер М.А. Измерения влажности. Изд. 2-е., М.: Энергия, 1973. 400с.
- 13 http://www.pergam.ru/catalog/pci/gas_analyzers/Aurora.htm
- 14 <http://www.immertech.ru/products/drying/zds-zdp/>

- 15 <http://labtime.ua/ru/vlagomer-stroymaterialov-vims-221-isp2-drevesina-beton-kirpich-pesok-obemno-planarnyy-datchik/p16075>
- 16 <http://labtime.ua/ru/vlagomer-drevesiny-mg-4d/p16053>
- 17 http://granat-e.ru/ivg_1_mkmc.html
- 18 http://granat-e.ru/ss500_ss2000_ss3000.html
- 19 Заболотный, О. В. Методы та засоби вимірювання фізико-хімічних величин. Контроль якості твердих і рідинних речовин / О. В. Заболотний, О. В. Світличний. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2008. – 80 с.
- 20 Заболотный А. В. Сорбционно-емкостный датчик влажности газов / А. В. Заболотный, М. А. Сухобрус // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.– № 52. – 2011.– С. 69-76.
- 21 XR-2206 Monolithic Function Generator. – Fremont: EXAR Corporation. 1972. – 16 p.
- 22 <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22003e.pdf>.
- 23 <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005318A.pdf>.
- 24 <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291G.pdf>.
- 25 <http://uk.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>.
- 26 <http://easyelectronics.ru/interface-bus-iic-i2c.html>.
- 27 <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>.
- 28 <https://ru.wikipedia.org/wiki/HD44780>.
- 29 Кісіль І. С. Конструювання вимірювальних приладів. – Ів.-Ф.: Факел, 2004 – 327с.
- 30 Берлинер М.А. Оцінка похибки вологомірів. – Вимірювальна техніка, 1969, №4
- 31 Кісіль І. С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань - Ів.-Ф.: Факел, 2002 – 399с.

ДОДАТОК А

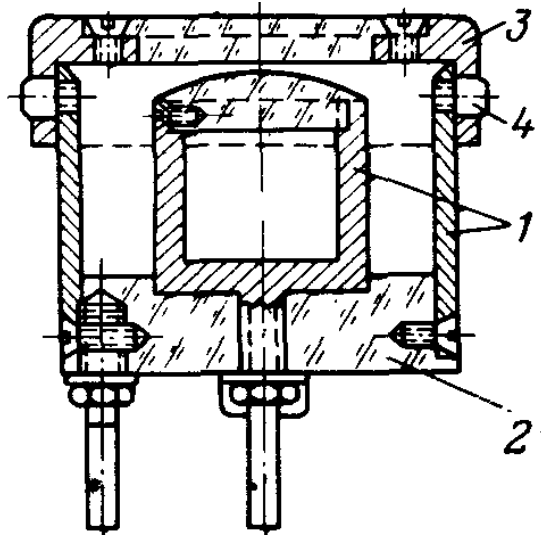
Класифікація методів вимірювань вологості речовин

Таблиця А.1 – Функціональне призначення методів вимірювання вологості

Методи вимірювань вологості	Функціональне призначення методу					
	Прямий	Опосередкований	Кількісний	Якісний	Лабораторний	Поточний
Абсолютні:						
-висушування	+	-	+	-	+	-
-екстракційний	+	-	+	-	+	-
-дистиляційний	+	-	+	-	+	-
-гравіметричний	+	-	+	-	+	-
-адсорбційний	+	-	+	-	+	+
Хімічні:						
-колориметричний	+	-	-	+	+	-
-волюметричний	+	-	+	-	+	-
-титрометричний	+	-	+	-	+	-
-калориметричний	+	-	+	-	+	-
-кулометричний	+	-	+	-	-	+
Фізичні						
-кондуктометричний	-	+	+	-	+	+
-акустичний	-	+	+	-	+	+
-оптичний	-	+	-	+	+	+
-ядерного магнітного резонансу	-	+	-	+	+	-
-тепловий (теплофізичний)	-	+	+	-	+	+
-діелькометричний	-	+	+	-	+	+
-радіохвильовий	-	+	+	-	+	+
-радіаційний	-	+	-	+	+	+
Примітка. “+” – метод відповідає даному функціональному призначенню; “-” – не відповідає.						

ДОДАТОК Б

Конструкція давача вологості

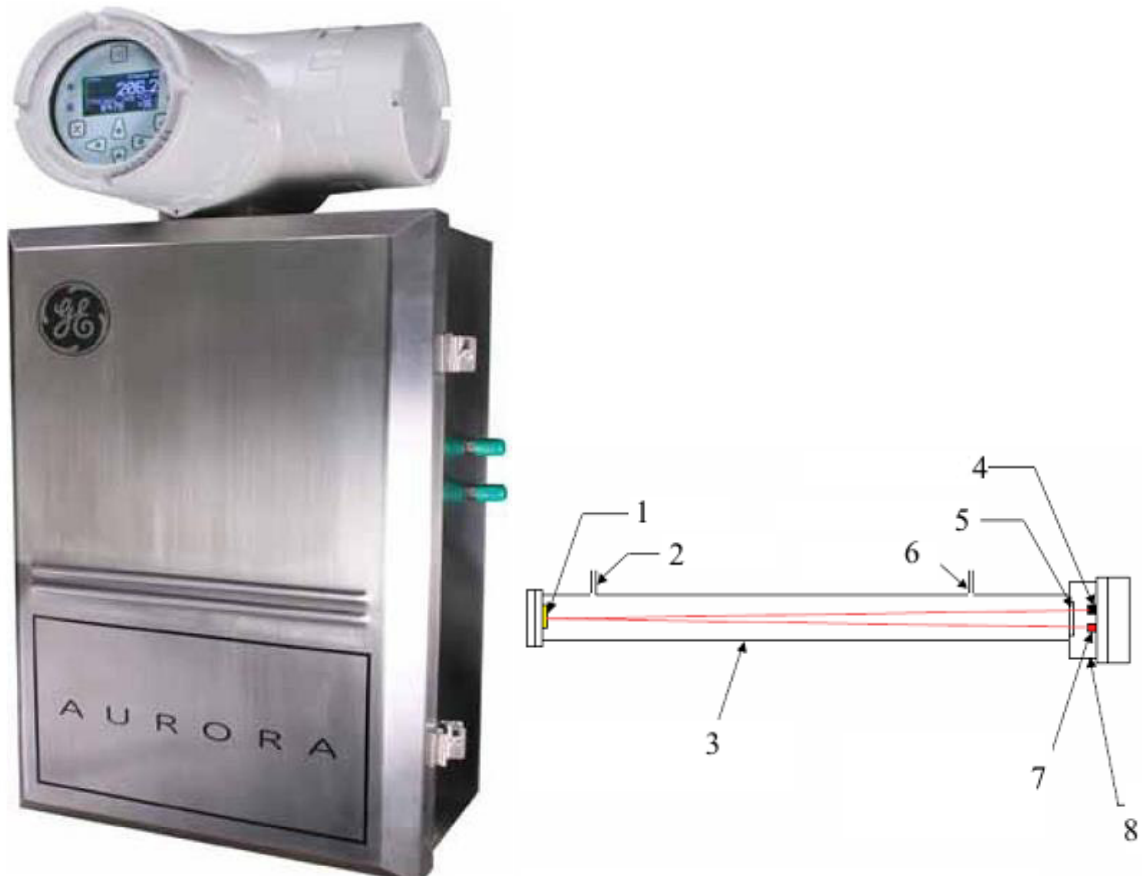


1 — електроди, 2 — основу, 3 — кришка, 4 — затвор

Рисунок Б.1 — Конструкція давача вологості пилоподібного вугільного палива

ДОДАТОК В

Промислові прилади для вимірювання вологості



а)

б)

а — зовнішній вигляд, б — конструкція перетворювальної комірки;
 1 — дзеркало, 2 — вхід газу, 3 — комірка, 4 — фотодетектор, 5 — оптичне
 вікно, 6 — вихід газу, 7 — лазер, 8 — герметичний корпус

Рисунок В.1 – Аналізатор Aurora

Продовження додатку В



Рисунок В.2 – Вимірювач точки роси ZDP100



Рисунок В.3 – Вологомір будівельних матеріалів ВІМС-2

Продовження додатку В



Рисунок В.4 – Вологомір МГ-4Д



Рисунок В.5 – Аналізатор мікрОВОЛОГИ природного газу ІВГ-1

ДОДАТОК Г

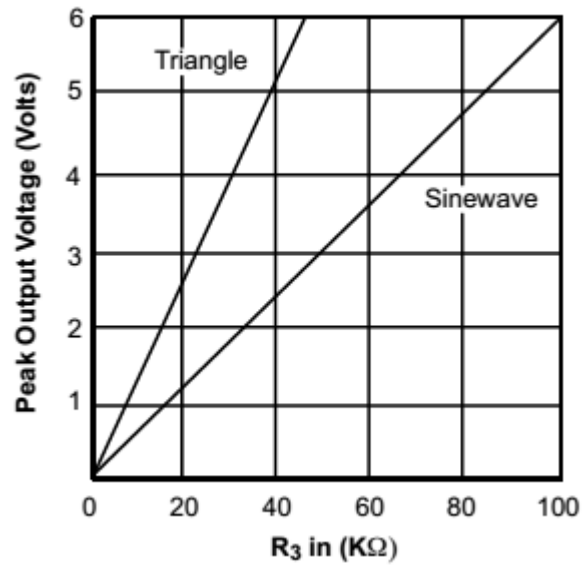


Рисунок Г.1 – Залежність амплітуди вихідного сигналу генератора від опору задаючого резистора

Продовження додатку В



Рисунок Г.2 – Аналізатор вологості SS500