

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА АКУСТИЧНИХ ТА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ СИСТЕМ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



Найда С. А.

(ініціали, прізвище)

“ 07 ” 06 2021 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 171 «Електроніка»

на тему: Ультразвуковий лічильник газу

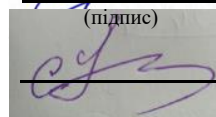
Виконав: студент 4 курсу, групи ДГ–71

Кубриш Ігор Васильович

Керівник доцент кафедри АМЕС, доц., к.ф-м.н., Козерук С. О.



(підпис)



(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

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

(підпис)

Рецензент заступник начальника науково-виробничого відділу вимірювань тиску та витрати газів «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», Рак А.М.

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

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ — 2021 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 171 – Електроніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



Найда С. А.
(ініціали, прізвище)

“ 07 ” 06 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Кубрищу Ігорю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Ультразвуковий лічильник газу
керівник проекту (роботи) к.ф-м.н. доцент Козерук Сергій Олександрович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від « 24 » травня 2021 р. № 1316-с
2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Розробити ультразвуковий лічильник газу
з наступними даними: газ — метан; мінімальна об'ємна витрата: 0.16 м³/год;
максимальна об'ємна витрата: 25 м³/год; швидкість звуку в газі метан:
446 м/с; переріз труби — номінальний діаметр підключення: DN20 (3/4").
4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які
потрібно розробити) Дослідження науково технічної інформації, патентної
інформації, аналіз об'єкту розробки. Аналіз ультразвукових методів вимірю-
вання, вибір методу та його обґрунтування. Розробка структурної схеми,
вибір інформаційного сигналу, ультразвукових перетворювачів. Оцінка

можливих завад. Проведення модельного експерименту. _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____

Презентація в Power Point _____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

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

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

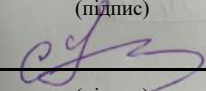
№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Дослідження науково-технічної інформації	05.04 – 11.04	Виконав
2	Аналіз патентної інформації	12.04 – 18.04	Виконав
3	Аналіз ультразвукових методів вимірювання	29.04 – 25.04	Виконав
4	Вибір методу вимірювання	26.04 – 02.05	Виконав
5	Розробка структурної схеми	16.05 – 02.06	Виконав
6	Вибір інформаційного сигналу та ультразвукових перетворювачів	03.05 – 09.05	Виконав
7	Оцінка можливих завад	10.05 – 16.05	Виконав
8	Проведення модельного експерименту	17.05 – 23.05	Виконав
9	Висновки і оформлення роботи	24.05 – 28.05	Виконав

Студент



(підпис)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

Кубриш І. В.

(ініціали, прізвище)

Козерук С. О.

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

УДК 681.121

РЕФЕРАТ

Кубриш, І. В. Ультразвуковий лічильник газу : дипломна робота бакалавра : 171 Електроніка. — Київ, 2021. — 49 с.

Дипломна робота містить основну частину на 39-и аркушах, 23 ілюстрації та 3 таблиці. Метою роботи є розробка ультразвукового лічильника газу. В роботі проведено аналітичний огляд літератури, досліджено патентну інформацію та розглянуто ультразвукові методи вимірювання кількості газу, вибрано часоімпульсний метод вимірювання. Запропоновано використати кореляційні приймачі. Комп'ютерне моделювання кореляційного приймача дало змогу оцінити завадостійкість.

Ключові слова: *акустична інженерія, акустичні вимірювання, акустичні пристрої, ультразвукові перетворювачі, виявлення акустичних сигналів, витратоміри, вимірювання витрати газу*

ABSTRACT

Kubrysh, I. Ultrasonic gas flow meter : bachelor thesis : 171 Electronics. — Kyiv, 2021. — 49 p.

The bachelor thesis contains the main part on 39 pages, 23 illustrations and 3 tables. The objective of the work is to develop an ultrasonic gas flow meter. The analytical review of the literature was conducted, patent information was examined and ultrasonic methods of gas quantity measurement were analyzed, the transit time method of measurement was chosen. It is proposed to use correlation receivers. Computer modeling of the correlation receiver allowed to estimate noise resistance.

Keywords: *acoustical engineering, acoustic measurements, acoustic devices, ultrasonic transducers, acoustic signal detection, flowmeters, fluid flow measurement*

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналітичний огляд проблеми.....	9
1.1. Основні відомості про витрату, витратоміри та фактори впливу на точність вимірювань.....	9
1.2. Характеристика середовища проведення вимірювань	15
1.3. Дослідження патентної інформації	16
1.4. Аналіз сучасних методів вимірювання витрати та кількості газу.....	20
1.5. Ультразвукові витратоміри	26
1.6. Технічні вимоги до пристрою, що розробляється	32
1.7. Висновки до 1 розділу	32
2 Розрахункова частина.....	34
2.1 Опис методу вимірювання та розробка структурної схеми.....	34
2.2. Вибір ультразвукових перетворювачів	38
2.3. Розрахунок інформаційного сигналу	39
2.4. Основні джерела похибок витратомірів.....	40
2.5. Моделювання кореляційного приймача радіоімпульсу	42
2.6. Висновки до розділу 2	45
Висновки.....	46
Перелік джерел посилання	47

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

УЗ — ультразвуковий

АЦП — аналого-цифровий перетворювач

Г — генератор

ГЛН — генератор лінійної напруги

ЗП — зарядний пристрій

П — приймач

КП — кореляційний приймач

ФНЧ — фільтр низьких частот

СЗ — сигнал-завада

ІМ — імітаційна модель

ВП — вимірювальний пристрій

ВСТУП

Природний газ є одним з найважливіших джерел енергії на планеті. Станом на 2019-й рік частка використання газу як джерела енергії у всьому світі складає 22.67% [1]. Разом з вугіллям (25.3%) та нафтою (30.93%) — це 78.9% всієї спожитої енергії [1].

Незважаючи на світовий тренд переходу до використання відновлюваних джерел енергії та зростаючу з кожним роком кількість енергії, що отримують таким чином [2], споживання газу у світі залишається стабільно високим [3].

Враховуючи викладені вище дані, та той факт, що газ є невідновлювальним джерелом енергії, можна зробити висновок про високу цінність газу, важливість його економії та відповідального споживання.

Важливим аспектом для досягнення даних цілей є ефективне та точне вимірювання кількості переміщеного газу на всіх ланках споживчого ланцюгу за допомогою газових лічильників та витратомірів. Це — побутові лічильники газу, які встановлюються безпосередньо у квартирах чи будинках приватних осіб, комунально-побутові та різного роду промислові витратоміри, що забезпечують надійний облік природного газу.

На вітчизняному ринку представлено дуже незначне число таких пристроїв. Українського виробництва: КУРС–01, КУРС–04, ЗОНД–1, ЗОНД–2, ГУВР–011 та моделі FLOWSIC500, FLOWSIC600 німецького виробника Sick AG. Тим не менш, попит на газові лічильники та витратоміри є високим.

Забезпечення повноти та прозорості обліку природного газу зокрема, й всіх паливно-енергетичних ресурсів загалом — є одним з пріоритетів та цілей чинної енергетичної стратегії України [4, с. 19]. В свою чергу, впровадження сучасних технологічних рішень відіграє важливу роль на шляху досягнення даної цілі.

Враховуючи потреби ринку та актуальність проблеми обліку газу, необхідною є розробка нового пристрою.

Метою роботи є розробка побутового ультразвукового лічильника газу.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ

1.1. Основні відомості про витрату, витратоміри та фактори впливу на точність вимірювань

Поняття витрати та витратоміра

Під терміном «витрата» розуміють — кількість (масу чи об'єм) речовини, що за одиницю часу переміщується через деякий поперечний переріз.

Кількість речовини вимірюють в одиницях маси (кілограми, тони, грами) або в одиницях об'єму (кубічних метрах, літрах). А витрата вимірюється в одиницях об'єму, поділених на одиницю часу, чи в одиницях маси, поділених на одиницю часу. В першому випадку матимемо об'ємну витрату Q_0 , а в другому — масову витрату Q_M . Тобто, розрізняють об'ємну і масову витрати [5, с. 5].

Масова витрата — це певна маса речовини, що проходить за одиницю часу крізь визначену площу. Величина вимірюється в одиницях маси за одиницю часу. В системі СІ це — кілограми за секунду (кг/с).

Об'ємна витрата — це певний об'єм речовини, що за одиницю часу проходить крізь визначну площу. Розглянемо випадок, коли речовина з рівномірно розподіленою по перерізу швидкістю u проходить через площу S під кутом θ напряму швидкості до перпендикуляру до площі S . У такому випадку, витрату можна визначити за виразом:

$$Q_0 = u \cdot S \cdot \cos(\theta) \quad (1.1)$$

У окремому випадку, коли швидкість потоку є перпендикулярною до площі S рівняння (1.1) буде виглядати так:

$$Q_0 = u \cdot S \quad (1.2)$$

При розрахунку витрати, потрібно використовувати середню швидкість потоку. Це усереднена характеристика інтенсивності процесу протікання речовини.

Середня швидкість — це уявна величина, однакова для всіх точок перерізу, при якій через цей переріз пропускається така ж кількість рідини, як і при дійсних швидкостях руху речовини.

Отже, масову витрату можна розрахувати через середню швидкість потоку в певному перетині, площу цього перетину та густину речовини:

$$Q_M = \rho \cdot V \cdot S, \quad (1.3)$$

де ρ — густина речовини.

З виразів (1.2) і (1.3) можна виразити масову витрату через об'ємну [6, с. 35–36]:

$$Q_M = \rho \cdot Q. \quad (1.4)$$

Якщо тиск і температура газу є відомими, можна правильно визначити кількість речовини (особливо газу). Як наслідок цього, результати вимірювання об'ємної витрати газу зазвичай приводять до стандартних (так званих, нормальних) умов, тобто температури 293.15 К (20 °С) і тиску 101 325 Па (760 мм. рт. ст.). Варто додати, що поруч з буквою, що позначає об'єм чи об'ємну витрату, потрібно ставити індекс «п» (приведений) або індекс «с» (стандартний).

Витратомір — прилад, який вимірює витрату речовини.

З іншого боку, прилад, що вимірює масу чи об'єм речовини називається *лічильником кількості*, чи просто *лічильником*.

Прилад, який одночасно вимірює витрату та кількість речовини, називається «*витратоміром з лічильником*». Прийнято до цих термінів додавати назву речовини, що вимірюється, наприклад: витратомір газу, лічильник води, витратомір пари з лічильником.

При безпосередньому сприйнятті приладом витрати, що вимірюється (наприклад, діафрагма, сопло, напірна трубка) і перетворенні її в іншу величину (наприклад, в перепад тиску), зручнішу для вимірювання, такий прилад називається *перетворювачем витрати* [5, с. 5].

Фактори впливу на точність вимірювань

Висока точність вимірювань, висока надійність, великий діапазон витрат, що підлягають вимірюванню, можливість проведення вимірів у екстремальних умовах (дуже високих чи низьких температурі та тиску) і широкий профіль речовин, що вимірюються — сучасні вимоги до витратомірів і лічильників [5, с. 7].

Тому є надзвичайно важливим дотримання високих метрологічних та експлуатаційних стандартів щодо приладів і систем, які беруть участь у вимірювання кількості та витрати речовин.

У реальних умовах експлуатації на роботу витратомірів та лічильників впливає ряд чинників. До них належать:

- *технологічні:*
 - розподіл швидкостей у поперечному перерізі потоку;
 - закручування потоку;
 - пульсації витрати та тиску в потоці;
 - динамічні характеристики потоку;
 - гідравлічні удари;
 - фізичні властивості газу;
 - домішки газу та ін.
- *зовнішні механічні:*
 - акустичний шум;
 - вібрації;
 - механічні удари.
- *кліматичні:*
 - вологість;
 - температура оточуючого середовища;
 - теплові сонячні потоки;
 - атмосферний тиск.

- *конструктивні:*
 - електрична ємність та омичний опір кабельних ліній;
 - режим живлення блоків приладу;
 - навантаження на виході приладу та інші.

Інтенсивність впливу зовнішніх чинників є різною та залежить від конкретних умов експлуатації. Загальний діапазон змін впливу є дуже широким. Варто зазначити, що інтенсивність впливу величин, спричинених зовнішніми чинниками визначає режим роботи лічильника чи витратоміра. Ці фактори впливають на точність та термін експлуатації пристрою [7].

Зовнішні фактори, впорядковані за інтенсивністю впливу [8] на роботу приладу, наведені на рис. 1.1.



Рисунок 1.1. Зовнішні фактори, впорядковані за інтенсивністю впливу

Існують також *внутрішні технологічні фактори впливу*, які спричиняють похибки вимірювань. Вони пов'язані з характеристиками середовища проведення вимірювань та структурою цього середовища. До них належать: розподіл швидкості в поперечному перерізі потоку та закручування потоку.

Нормальний *розподіл швидкостей у поперечному перерізі потоку* характеризується тим, що епюра швидкостей відповідає розвинутому турбулентному потоку в довгій круглій трубі, тобто підпорядковується логарифмічному закону.

Закручування потоку середовища проведення вимірювань можна охарактеризувати кутовою швидкістю обертання потоку ω , яка в одному і тому ж трубопроводі є детермінованою функцією швидкості потоку або об'ємної витрати газу. Закручування потоку поділяють на праве (обертання за годинниковою стрілкою) і ліве (проти годинникової стрілки). У випадку лівого закручування потоку, використовується знак мінус. Діапазон закручування позначають межами від ω_{min} до ω_{max} . В реальних умовах ці величини мають значення близько $-6 \text{ с}^{-1} \leq \omega(Q) \leq +6^{-1}$. А величину закручування більше $|2|$ об/с вважають інтенсивною.

Зміни температури, тиску та вологості є одними з найважливіших зовнішніх величин впливу. Кількісні характеристики величин впливу наведені в таблиці 1.1. Максимальна температура в таблиці вказана як $+85 \text{ }^\circ\text{C}$. Незважаючи на це, існують випадки роботи витратомірів та лічильників і при вищих температурах, наприклад на металургійних підприємствах. В таких випадках варто вважати величину впливу як тепловий потік [7].

Таблиця 1.1. Кількісні характеристики впливових величин: температури, теплового удару, тиску й вологості

№ п/п	Впливова величина	Діапазон змін для визначення	
		функцій впливу	залишкових впливів зовнішніх факторів
1	2	3	4
1.	Діапазон змін температури оточуючого середовища, °С	від -60 до +85	від -60 до +85
2.	Тепловий удар температурний стрибок, °С тривалість стрибка, с максимальна температура, °С	— — —	500–200 0,5–1 100–1000
3.	Тиск у навколишньому середовищі: підвищений тиск в нейтральному або спеціальному газовому середовищі при температурі, °С; тиску, МПа понижений тиск в нейтральному або спеціальному газовому середовищі при температурі, °С; тиску, мм рт. ст.	— — — —	від -60 до +85 0,1–2 від -60 до +85 10^{-1} – 10^{-6}
4.	Вологість, %, при температурі від 25 до 50°С	—	800–100

[7].

Блоки пристрою, що містять електронні елементи є більш чутливими до температурних умов, тому в деяких випадках їх розміщують в окремих приміщеннях з більш стабільним та помірним температурним режимом.

1.2. Характеристика середовища проведення вимірювань

Природний газ — це вуглеводнева газова суміш, що зустрічається в природі й складається в основному з метану, але зазвичай включає різні кількості інших вищих алканів, а іноді невеликий відсоток діоксиду вуглецю, азоту, сірководню або гелію. Він утворюється, коли шари розкладеної рослинної і тваринної матерії піддаються впливу сильного тепла та тиску під поверхнею Землі протягом мільйонів років. Енергія, яку рослини спочатку отримували від сонця, зберігається у вигляді хімічних зв'язків в газі.

Природний газ є горючою корисною копалиною. В природі газ зустрічається у газовому стані — залягає в надрах Землі у вигляді окремих скупчень, які мають назву *газові поклади*. Також існує в розчиненому стані — у воді та нафті; у вигляді газової шапки нафтогазових родовищ.

Основні параметри які характеризують природний газ: густина, в'язкість, критична температура і тиск, вміст вологи, розчинність, об'ємний коефіцієнт, коефіцієнт стисливості та інші.

Склад природного газу: найбільша частина це метан (CH_4) — близько 98%. Також до складу входять важкі вуглеводні сполуки: бутан (C_4H_{10}), пропан (C_3H_8), етан (C_2H_6). Гомологи метану: сірководень (H_2S), водень (H_2), азот (N_2) та діоксид вуглецю (CO_2).

Природний газ безбарвний та не має запаху. Тому, з міркувань безпеки, перед доставкою газу до споживачів до нього додають одорант. Одорант — це спеціальна речовина, яка характеризується різким специфічним запахом. Як одорант використовують етантіол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$), також трапляється використання суміші природних меркаптанів ($\text{C}_2\text{H}_3\text{P}$). Дозування одоранту повинно складати 16 г на 1000 м^3 природного газу. А запах природних газів має відчуватись при вмісті їх в

повітрі в кількості, що складає не більше 1/5 від нижньої границі спалахування. Одорант є агресивною речовиною, яка може спричинити корозію внутрішніх стінок труб. Через це, в магістральних газопроводах високого тиску транспортують неодоризований газ.

В Україні якість природного газу, який постачається споживачам, зокрема населенню, повинна відповідати чинному стандарту [9]. Вимоги і норми до фізичко-хімічних показників природного газу приведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Вимоги до фізичко-хімічних показників природного газу

1. Теплота згорання нижча, МДж/м ³ (ккал/м ³), при 20 °С, 101.325 кПа, не менше	31.8 (7600)
2. Область значень числа Воббе (вищого), МДж/м ³ (ккал/м ³)	41.2–54.5 (9850–13000)
3. Допустиме відхилення числа Воббе від номінального значення, %, не більше	±5
4. Масова концентрація сірководню, г/м ³ , не більше	0.02
5. Масова концентрація меркаптанової сірки, г/м ³ , не більше	0.036
6. Об'ємна частка кисню, %, не більше	1.0
7. Маса хімічних домішок в 1 м ³ , г, не більше	0.001
8. Інтенсивність запаху газу при об'ємній частці 1%	3
9. Швидкість звуку, м/с	367.43–473.09

[9]

1.3. Дослідження патентної інформації

Важливим етапом аналізу об'єкту розробки є огляд патентної інформації. В даному підрозділі буде розглянуто два патенти, що зареєстровані в Україні, на ультразвукові витратоміри. Наведено принцип роботи приладів та їх блок-схеми.

1. Ультразвуковий витратомір. Патент на корисну модель.

Номер патенту: 99227

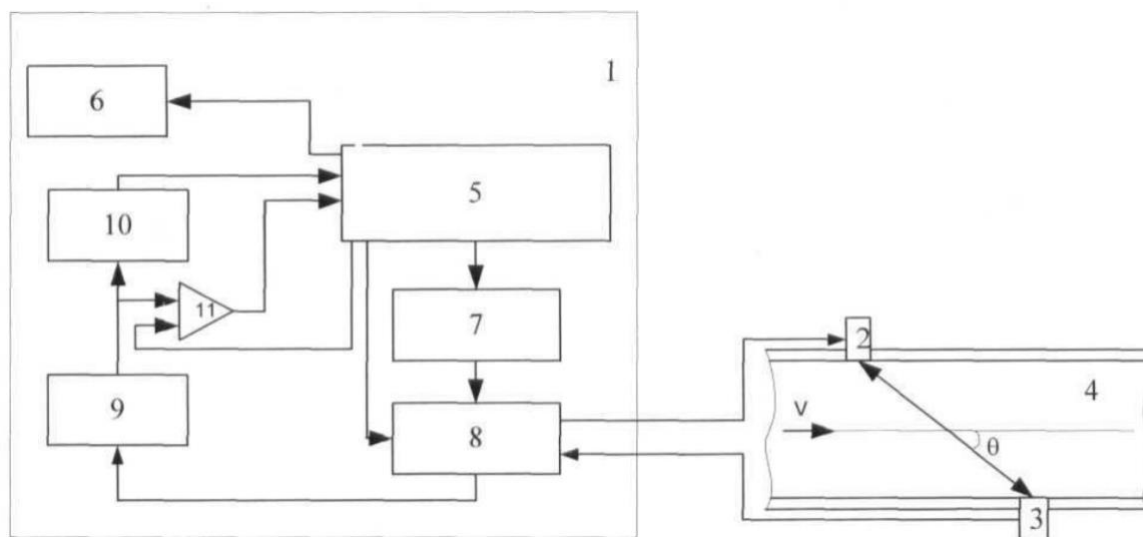


Рисунок 1.2. Блок-схема ультразвукового витратоміра

Ультразвуковий витратомір містить:

1 – блок формування та аналізу електричних імпульсів, 2 і 3 – електроакустичні перетворювачі, 4 – вимірювальна ділянка трубопроводу, 5 – контролер, 6 – індикатор, 7 – генератор змінної частоти, 8 – комутатор, 9 – підсилювач, 10 – АЦП, 11 – компаратор.

Принцип роботи:

Даний прилад є одноканальним, тобто має два перетворювачі 2 і 3 (рис. 1.2), які по чергово виконують функції випромінювача й приймача. Застосовує частотний метод вимірювання: тобто вимірює значення різниці часів проходження УЗ коливаннями однієї і тієї ж відстані за потоком та проти нього, залежно від частоти повторення коротких імпульсів. Містить індикатор 6 (рис. 1.2), який відображає кількісні значення витрати.

Головним елементом роботи витратоміра є цифровий контролер 5 (рис. 1.2), який здійснює обчислення значення різниці часів проходження УЗ коливань, керує генератором змінної частоти 7, комутатором 8, компаратором 11 та індикатором 6. Отримує дані з компаратора 11 (рис. 1.2) та АЦП 10, на який надходять прийняті перетворювачами та підсилені підсилювачем 9 сигнали УЗ коливань проходження через потік газу [10].

2. Ультразвуковий витратомір. Патент на корисну модель.

Номер патенту: 40819

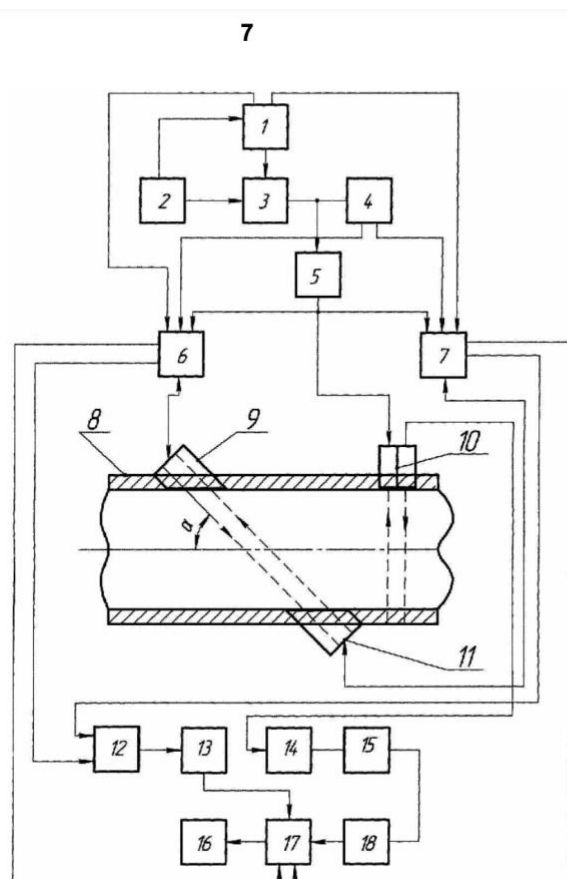


Рисунок 1.3. Блок-схема
ультразвукового витратоміра

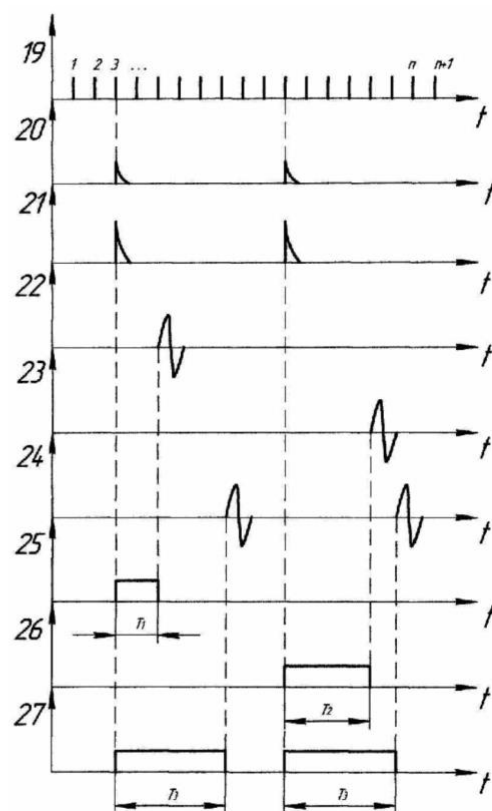


Рисунок 1.4. Часові діаграми роботи
ультразвукового витратоміра

Ультразвуковий витратомір містить:

1 – схема керування, 2 – генератор синхронізуючих імпульсів, 3 – перший електронний ключ, 4 – тригер, 5 – генератор зондуючих імпульсів, 6 – другий електронний ключ, 7 – третій електронний ключ, 8 – об'єкт, 9 – перший п'єзоелектричний перетворювач, 10 – третій п'єзоелектричний перетворювач, 11 – другий п'єзоелектричний перетворювач, 12 – перший підсилювач, 13 – формувач, 14 – другий підсилювач, 15 – формувач імпульсів, 16 – реєструючий пристрій, 17 – мікропроцесор, 18 – АЦП.

Часові діаграми:

- 19 — сигнал, що створюється генератором синхронізуючих імпульсів 2;
- 20 — сигнал на встановлення тригера 4 в одиничне положення;
- 21 — сигнал для почергового збудження першого 9 і другого 11 перетворювачів, сформований генератором зондуючих імпульсів 5;
- 22 — підсилений сигнал, який прийнятий п'єзоелементом 11 (за напрямком поширення газу) на виході першого підсилювача 12;
- 23 — підсилений сигнал, який прийнятий п'єзоелементом 9 (проти напрямку поширення газу) на виході першого підсилювача 12;
- 24 — підсилений сигнал, який прийнятий третім п'єзоелементом 10 на виході другого підсилювача 14;
- 25 — обчислений через мікропроцесор 17 інтервал часу T_1 проходження ультразвукових коливань за напрямком потоку;
- 26 — обчислений через мікропроцесор 17 інтервал часу T_2 проходження ультразвукових коливань проти напрямку потоку;
- 27 — інтервал часу T_3 проходження ультразвукових коливань від передавальної до приймальної частини третього перетворювача 10, зафіксований мікропроцесором 17.

Принцип роботи:

Даний прилад працює з використанням трьох перетворювачів та застосовує часоімпульсний метод вимірювання. П'єзоелектричні перетворювачі 9 і 11 (рис. 1.3) по чергово виконують функції випромінювача та приймача і вимірюють час проходження ультразвукового імпульсу за потоком та проти нього. Дані часові інтервали обчислюються мікропроцесором 17 (рис. 1.3). Також додатково використовується перетворювач 10 (рис. 1.3). Одночасно з кожним збудженням п'єзоелементів 9 чи 11 (рис. 1.3), збуджується перпендикулярно розміщений до поверхні третій п'єзоелектричний перетворювач 10 (рис. 1.3). Він випромінює імпульс, який проходить через потік газу, відбивається від протилежної стінки трубопроводу та приймається назад даним перетворювачем. Фіксується час проходження імпульсу.

Додатковий перетворювач 10 (рис. 1.3) використовується для отримання даних про час проходження ультразвукових коливань через газове середовище. Ці дані порівнюються з даними, отриманими після експериментальних досліджень роботи ультразвукового витратоміра.

"Якщо різниця між виміряними і визначеними експериментально для заданих значень температури та вологості газу значеннями швидкості поширення ультразвуку перевищує її допустиме значення, в виміряну витрату потоку вноситься відповідна корегувальна поправка" [11]. На рисунку 1.3 наведена блок-схема ультразвукового витратоміра, а на рисунку 1.4 продемонстровані часові діаграми приладу.

1.4. Аналіз сучасних методів вимірювання витрати та кількості газу

Значна частина вимірювань, які проводяться у промисловості, сільському господарстві, науці пов'язана з вимірювання кількості та витрати речовин.

Існують різноманітні методи вимірювання, засновані на різних фізичних принципах. Перед усім, причиною цьому є різноманіття вимірювальних середовищ, у яких потрібно проводити вимірювання. Також це різні вимоги, зумовлені сферою

застосування та потрібними технологічними характеристиками. Задовольнити поставлені вимоги не завжди можна, використовуючи тільки один тип лічильників чи витратомірів, тому стають у нагоді розробки, засновані на різних принципах роботи. Це дає змогу комбінувати різні типи витратомірів та обирати варіант, що найкраще вирішує кожну окрему задачу.

"Моніторинг приладів і систем, які широко застосовуються у сучасній витратометрії, показує що найбільшого поширення отримали витратоміри та лічильники кількості газу: змінного перепаду тиску, тахометричні, об'ємні, вихрові та ультразвукові" [12, с. 533].

Враховуючи сказане вище, в даному підрозділі буде розглянуто витратоміри та лічильники: змінного перепаду тиску, тахометричні, зокрема камерні (об'ємні), вихрові та ультразвукові.

Витратоміри змінного перепаду тиску

Принцип роботи витратомірів змінного перепаду тиску полягає у залежності витрати від перепаду тиску, що створюється пристроєм, встановленим у трубопроводі.

Класифікація витратомірів змінного перепаду тиску наведена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5. Витратоміри змінного перепаду тиску

До складу витратоміру входять: перетворювач витрати, що створює перепад тиску; диференційний манометр, який вимірює цей перепад і з'єднувальні трубки між перетворювачем і дифманометром. Коли існує необхідність передачі показників витратоміра на значну відстань, до трьох елементів додаються ще

вторинний перетворювач, який перетворює переміщення рухомого елемента дифманометра в електричний і пневматичний сигнал, який передається по лінії зв'язку (кабелі чи трубки) до вторинного вимірювального пристрою. Якщо первинний дифманометр (або вторинний вимірювальний пристрій) має інтегратор то такий прилад вимірює не тільки витрату, а й кількість речовини [13, с. 10].

Перевагами витратомірів такого типу є великий діапазон можливих діаметрів. Також перевагою є можливість у великому діапазоні температур: $-10\dots+85$ °С, вологості навколишнього середовища: $0\dots100\%$. Робочий тиск витратомірів змінного перепаду тиску: $0.1\dots10$ МПа.

До **недоліків** можна віднести похибку більше 1–2%.

Тахометричні витратоміри

Тахометричні витратоміри та лічильники — це такі пристрої, які мають руховий елемент (зазвичай обертальний), швидкість руху якого пропорційна об'ємній витраті.

Класифікація тахометричних витратомірів за конструкцією наведена на рисунку 1.6.

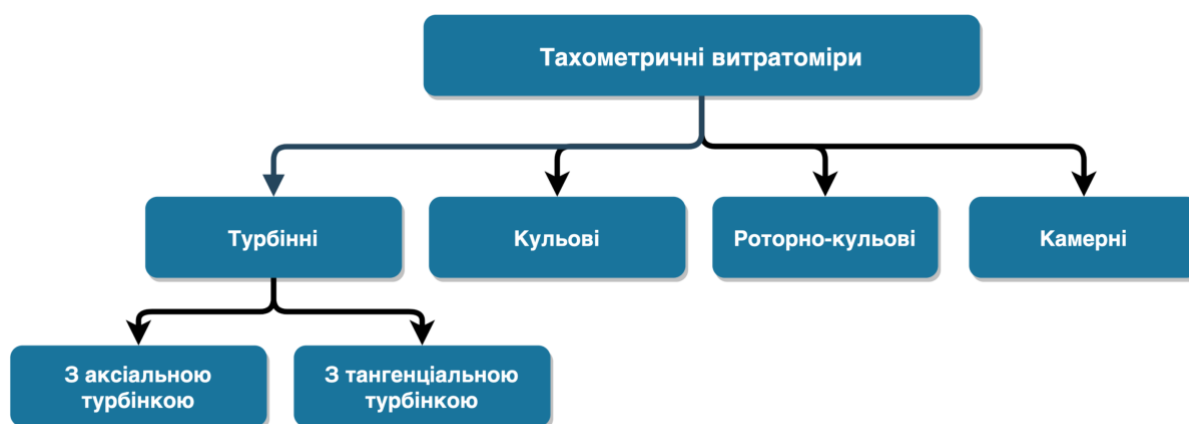


Рисунок 1.6. Тахометричні витратоміри

Змінюючи швидкість руху рухомого елемента, отримуємо витратомір, а вимірюючи загальне число оборотів (чи ходів) — лічильник кількості (об'єму або маси) речовини. Лічильники газу і води такого типу вже давно широко

застосовуються, тому що для цього потрібно всього з'єднати вал турбінки або іншого перетворювача витрати через зубчатий редуктор з лічильним механізмом. Для створення тахометричного витратоміра швидкість руху елемента потрібно попередньо перетворити в сигнал, пропорційний витраті й зручний для вимірювання. В даному випадку є необхідним двокроковий перетворювач витрати. Його перша ступінь — турбінка, куля або інший елемент, швидкість руху якого пропорційна об'ємній витраті, а друга ступінь — тахометричний перетворювач, який створює сигнал вимірювання: зазвичай частоту електричних імпульсів, пропорційну швидкості руху тіла. В такому випадку, вимірювальним приладом буде електричний частотомір: цифровий або аналоговий.

Переваги: висока надійність та точність вимірювання (клас точності 1.0), компактність, мале співвідношення ваги і вимірюваної витрати, значний діапазон вимірювання (100:1 і вище), можливість обліку газу при високих тисках, вихід лічильника з ладу не припиняє подачу газу споживачеві [16, с. 37].

Недоліки: зношення опор.

Через цей недолік, такий тип витратомірів не підходить для речовин, які містять механічні домішки, оскільки це може призвести до викривлення показів чи виходу з ладу перетворювача витрати.

Камерні лічильники

Камерні лічильники належать до об'ємних лічильників. Їх особливістю є наявність одного чи кількох рухомих елементів, які, рухаючись, відмірюють певні об'єми газу. За принципом дії вимірювання витрати і кількості в них відбувається шляхом відсікання певних порцій (об'єму) газу. Витрата газу за будь-який проміжок часу є сумою виміряних об'ємів, віднесених до визначеного періоду часу.

Класифікація камерних лічильників за типом конструкцій наведена на рисунку 1.7.

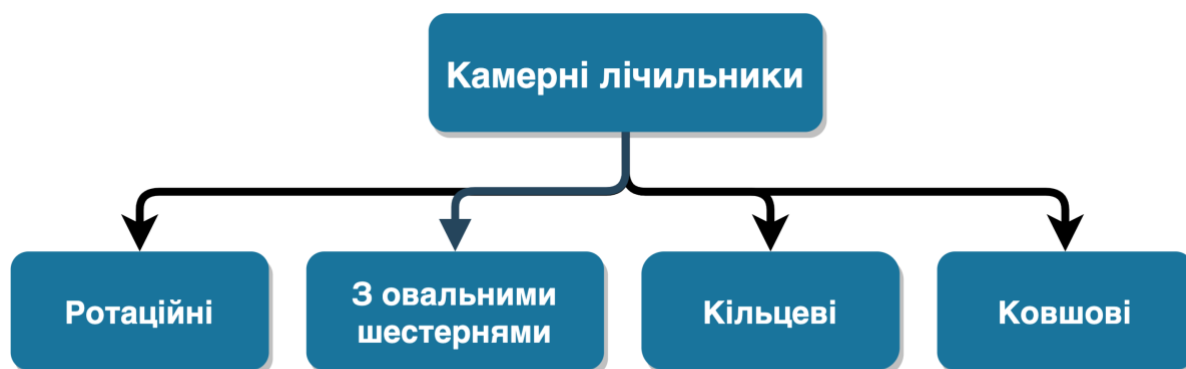


Рисунок 1.7. Камерні лічильники

Найбільшого поширення у газовій промисловості отримала конструкція ротаційного типу.

Переваги: менші розміри, при тих самих межах вимірювань (в порівнянні з іншими лічильниками), нечутливість до перевантажень [16, с. 40].

Недоліки: підвищені оберти лопастних поршнів, що як наслідок призводить до інтенсивного зношування робочих органів.

Принцип дії ротаційних лічильників полягає у витісненні під дією різниці тисків між входом і виходом лічильника, двома роторами вісімкоподібної форми по черзі порцій газу, що відсікаються роторами і стінками лічильника. Схема принципу дії наведена на рис. 1.8. Ротори здійснюють обороти у взаємопротилежних напрямках. За повний цикл вимірювання на вихід поступає чотири вимірювальних об'єми. Вимірювальний об'єм — це об'єм, розташований між ротором і стінкою лічильника. Оберти роторів передаються передавальним механізмом в головку лічильника на відліковий пристрій, який відображає об'єм газу, що пройшов через лічильник.

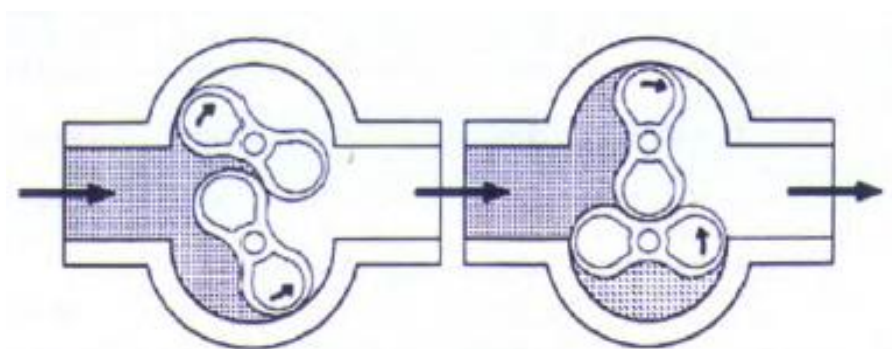


Рисунок 1.8. Ілюстрація принципу дії роторного лічильника газу

Вихорові витратоміри

Вихорові витратоміри — це такі витратоміри, принцип роботи яких оснований на зміні частоти коливань, що виникають у потоці в процесі завихрень.

Вихорові витратоміри діляться на три групи, які суттєво відрізняються одна від одної. Класифікація наведена на рисунку 1.9.

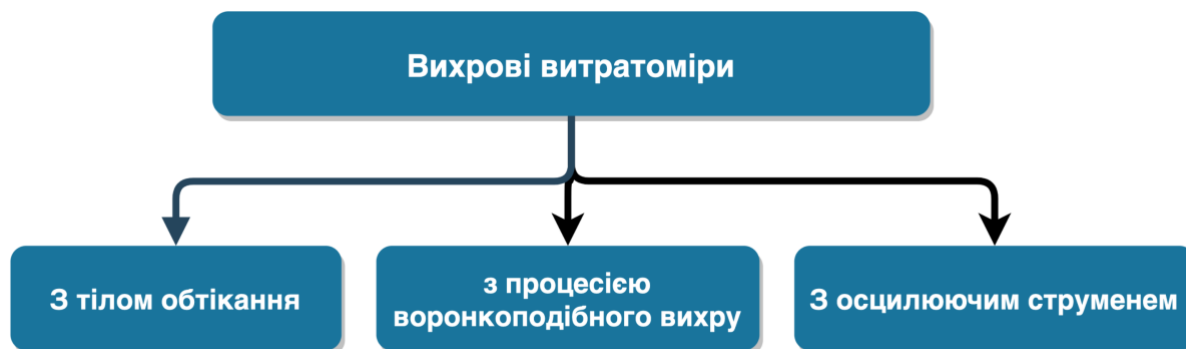


Рисунок 1.9. Вихорові витратоміри

У вихорових витратомірах значення витрати визначається за частотою вихорів Кармана, що виникають як при введенні в потік тіла обтікання, так і при спеціальному закручуванні потоку. Частота зриву вихорів і пульсації тиску, що при цьому виникають, пропорційні швидкості вимірюваного потоку.

Для вимірювання частоти зриву вихорів застосовують магнітний, ультразвуковий та інші способи знімання сигналу, що принципово не позначається на основних метрологічних характеристиках вихорових приладів, однак може вносити істотний вплив на їх експлуатаційні характеристики [14].

Переваги: простота конструкції (відсутність будь-яких рухомих елементів всередині трубопроводу), ціна, хороша точність, яка оцінюється похибкою в 0.5–1.5% від межі шкали, незалежність показів від температури та тиску.

Недоліки: акустичні й вібраційні перешкоди: пульсації, що створюються насосами або компресорами, пульсації внаслідок вібрації трубопроводів [16, с. 43–45].

1.5. Ультразвукові витратоміри

Ультразвукові витратоміри — це такі витратоміри, які базуються на вимірюванні, що залежить від витрати того чи іншого акустичного ефекту, що виникає під час проходження ультразвукових коливань через потік газу.

Ультразвуковий метод вимірювання витрати базується на використанні ефекту зсуву акустичних коливань потоком контрольованого середовища.

Ступінь зсуву можна виявити шляхом вимірювання одного з параметрів, які характеризують УЗ коливання:

- амплітуда;
- частота;
- фаза.

Основними елементами перетворювачів ультразвукових витратомірів є випромінювачі і приймачі ультразвукових коливань. Принцип дії полягає у п'єзоелектричному ефекті: при стисненні і розтягненні у визначених напрямках деяких кристалів (п'єзоелементів) на їх поверхнях виникають електричні заряди. Якщо до цих поверхонь прикласти різницю електричних потенціалів, то п'єзоелемент розтягнеться чи стиснеться залежно від того, на якій із цих поверхонь буде більша напруга [16, с. 41].

Класифікація ультразвукових витратомірів

Ультразвукові витратоміри можна класифікувати за п'ятьма основними категоріями:

1. за способом руху УЗ хвиль;
2. за спрямованістю УЗ випромінювання;
3. за кількістю каналів вимірювання;
4. за видом акустичного шляху;
5. за способом розміщення перетворювачів.

Детальна класифікація зображена на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10. Класифікація ультразвукових методів вимірювання витрати газу

Часопрохідний метод

Часопрохідний метод полягає у вимірюванні різниці швидкості розповсюдження УЗ хвиль, що спрямовані за потоком та проти нього (рис. 1.11).

У **часоімпульсному методі** швидкість потоку знаходять за допомогою вимірювання різниці часу проходження коротких імпульсів за потоком та проти нього.

При використанні **фазового методу** вимірюють залежності фазових зсувів УЗ коливань на прийомних п'єзоелементах, від різниці часів проходження цими коливанням однакової відстані за потоком та проти.

Принцип роботи **частотного методу** оснований на залежності різниці частот повторення коротких імпульсів від різниці часів проходження цими коливаннями однієї і тієї ж відстані за потоком та проти нього.

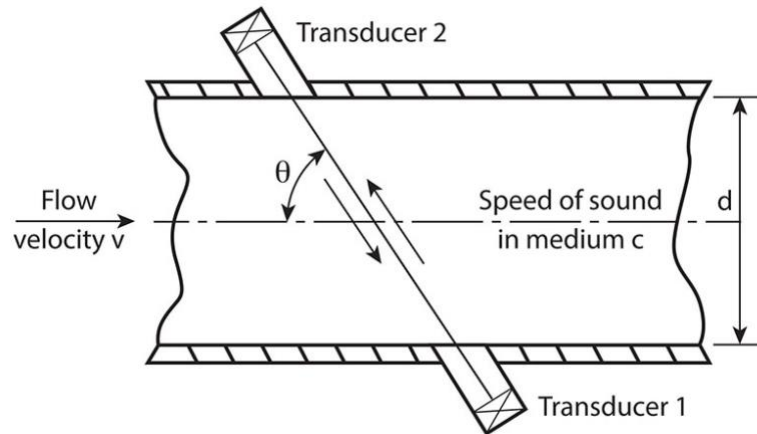


Рисунок 1.11. Схема часопрхідного методу вимірювання витрати

Метод геометричного зсуву променя

Принцип методу геометричного зсуву полягає у випромінюванні УЗ хвиль по нормалі до напрямку руху потоку, їх прийомі двома п'єзоелементами та вимірюванні різниці інтенсивності прийнятих коливань. П'єзоелементи, які виконують функцію приймачів розташовують так, щоб при відсутності руху речовини, прийнята інтенсивність УЗ коливань була однаковою.

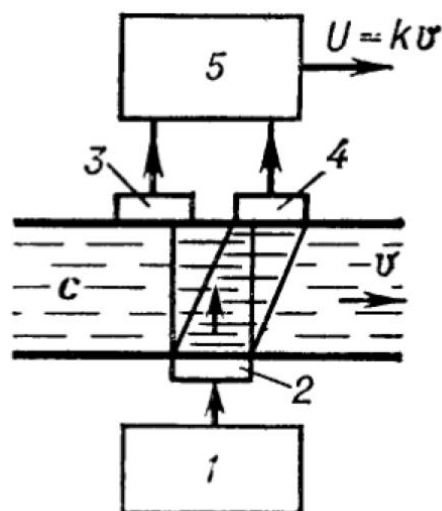


Рисунок 1.12. Схема методу геометричного зсуву променя

На рисунку 1.12 зображена схема методу геометричного зсуву променя. Блок 1 — генератор, 2 — п'єзоелемент, що виконує функцію випромінювача, 3 і 4 — два приймачі, 5 — блок порівняння інтенсивностей прийнятих сигналів.

Метод ефекту Доплера

Робота даного методу базується на ефекті Доплера: частота хвиль, що реєструється приймачем змінюється внаслідок відбиття від рухомого об'єкту, тобто неоднорідностей потоку. Таким чином, вимірювання різниці частоти дає змогу виміряти місцеву швидкість потоку. Цей фактор споріднює їх з іншими витратомірами, принцип дії яких базується на вимірюванні місцевої швидкості. Для їхнього застосування потрібно знати співвідношення між швидкістю частинки відбиття і середньою швидкістю потоку.

На рисунку 1.13 зображена схема вимірювання витрати на основі методу Доплера.

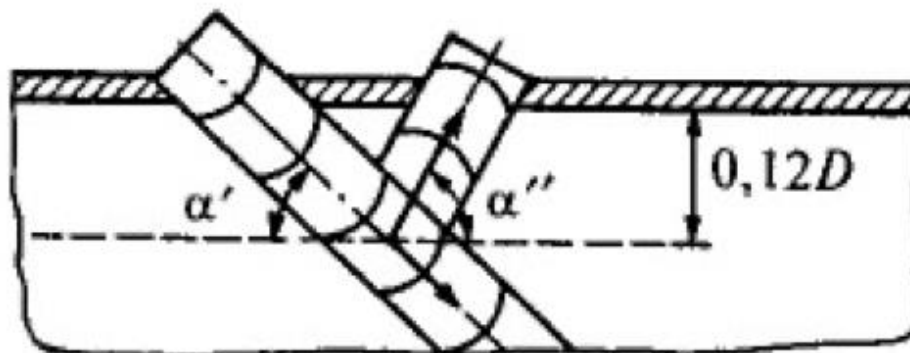


Рисунок 1.13. Схема методу Доплера

Спрямованість УЗ променя відносно потоку

За спрямованістю променя відносно потоку є два методи вимірювання:

1. З спрямованим випромінюванням. Пара перетворювачів по чергово випромінюють вузькоспрямовані імпульси в напрямку одне одного (рис. 1.14.а).

2. З багатонапрямним (сферичним) випромінюванням. Перетворювач випромінює широкоспрямований імпульс, який приймають одразу кілька приймачів, що розташовані нижче за потоком (рис 1.14.б).

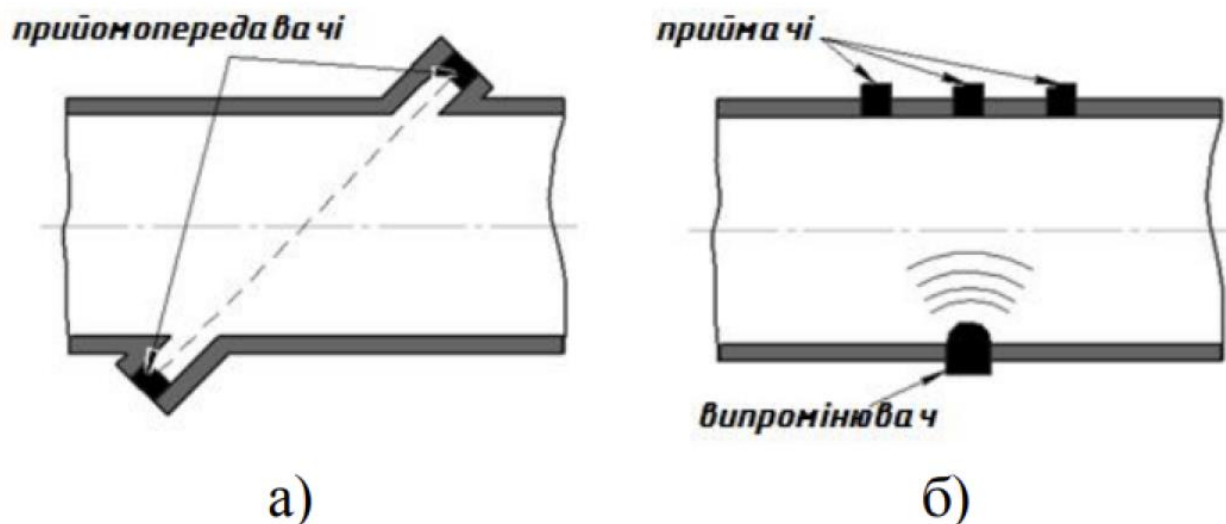


Рисунок 1.14. Витратоміри з спрямованим (а) та багатонапрямним (б) випромінюванням

Кількість каналів УЗ витратомірів

Розрізняють одно-, дво-, та багатоканальні витратоміри:

1. Одноканальні (однопроменеві) мають два п'єзоелектричних перетворювачів, кожен з яких по чергову випромінює та приймає сигнал (рис. 1.15. а).

2. Двоканальні (двопроменеві) складаються з чотирьох п'єзоелектричних елементів, які утворюють два незалежних акустичних канали, розташовані паралельно або навхрест (рис. 1.15. б, в).

3. Багатоканальні (багатопробеневі) мають більше двох каналів та використовуються для підвищення точності вимірювань (рис. 1.15. г)

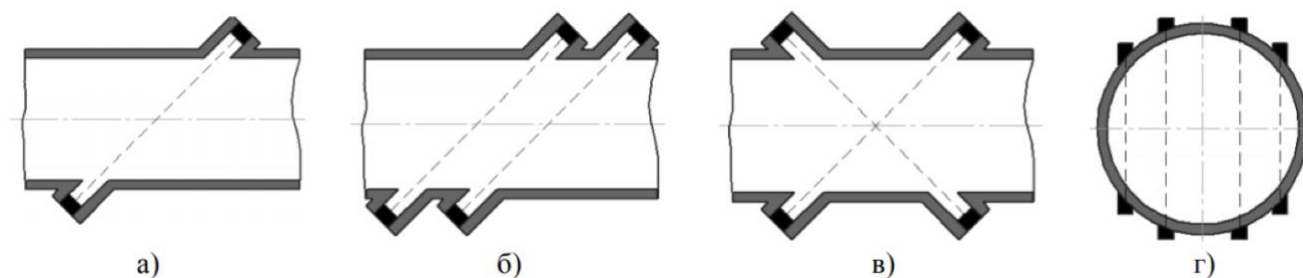


Рисунок 1.15. Схеми одноканальних (а), двоканальних (б–в) та багатоканальних (г) витратомірів

Переваги та недоліки ультразвукових витратомірів

Ультразвукові витратоміри та лічильники мають такі **позитивні характеристики**:

- можливість застосування для вимірювання у забруднених та агресивних середовищах;
- безконтактність вимірів;
- безінерційність вимірювання;
- відсутність втрат тиску в трубопроводі;
- відсутність рухомих частин в потоці;
- значний динамічний діапазон;
- висока точність вимірювання.

Недоліками цього методу вимірювання є схильність до похибок вимірювання через:

- неправильне врахування профілю швидкостей;
- паразитні акустичні сигнали;
- зміни швидкості ультразвуку;
- асиметрія електронно-акустичних каналів.

Прилади, що використовують доплерівський метод не мають високої точності вимірювання та потребують великих прямолінійних ділянок трубопроводів: від 35 Ду до 85 Ду — доплерівські. Перевага даних приладів — вимірювання неоднорідних за складом потоків [15].

1.6. Технічні вимоги до пристрою, що розробляється

Для вимірювання витрат газу за допомогою пристрою, що розробляється, прийнято рішення використати часоімпульсний метод. Причинами вибору даного методу є поширеність його використання [16, с. 43], відносна простота конструкції та висока точність. Тому, прийнято рішення розробити побутовий одноканальний часоімпульсний витратомір.

Для пристрою сформовано наступні технічні характеристики:

1. типорозмір: **G16**;
2. пропускна спроможність: **16–25 м³/год**;
3. номінальний діаметр підключення: **DN20 (3/4")**;
4. робочий тиск: **0.6 МПа**;
5. мінімальна об'ємна витрата: **0.16 м³/год**;
6. номінальна об'ємна витрата: **1.25 м³/год**;
7. максимальна об'ємна витрата: **25 м³/год**.
8. Границі допустимої відносної похибки:
 - a. **±1,0 %** в діапазоні витрат від $25 \text{ м}^3/\text{год} \geq Q \geq 1.25 \text{ м}^3/\text{год}$;
 - b. **±2,0 %** в діапазоні витрат $1.25 \text{ м}^3/\text{год} > Q \geq 0.16 \text{ м}^3/\text{год}$;
9. робоча температура: **від –30 до 50° С**;
10. втрати тиску: **не більше 700 Па**.

1.7. Висновки до 1 розділу

У першому розділі роботи було проаналізовано об'єкт розробки та досліджено науково-технічну інформацію: проаналізовано теоретичну базу для проведення дослідження та фактори впливу на точність вимірювань. Здійснено пошук та досліджено патентну інформацію: описано принципи роботи та наведено блок-схеми відомих інженерних рішень. Також було проаналізовано середовище проведення вимірювань — природний газ.

Проведено аналіз та оцінку сучасних методів вимірювання кількості газу та витрати. Було досліджено витратоміри різних типів: витратоміри змінного перепаду тиску, тахометричні витратоміри, камерні лічильники, вихрові витратоміри та ультразвукові витратоміри. Проаналізовано принципи роботи, особливості застосування та переваги й недоліки кожного з методів. Більш детально було досліджено та класифіковано ультразвукові витратоміри. Наведено принципи роботи та схеми витратомірів. Проаналізовано переваги й недоліки наведених типів ультразвукових витратомірів. Обрано метод вимірювання та сформовано технічні вимоги.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

В першому розділі було розглянуто різноманітні ультразвукові методи вимірювання кількості та витрати газу. Було прийнято рішення розробити пристрій на основі часоімпульсного методу. В даному розділі детальніше розглянемо даний метод вимірювання та розробимо структурну схему пристрою.

2.1 Опис методу вимірювання та розробка структурної схеми

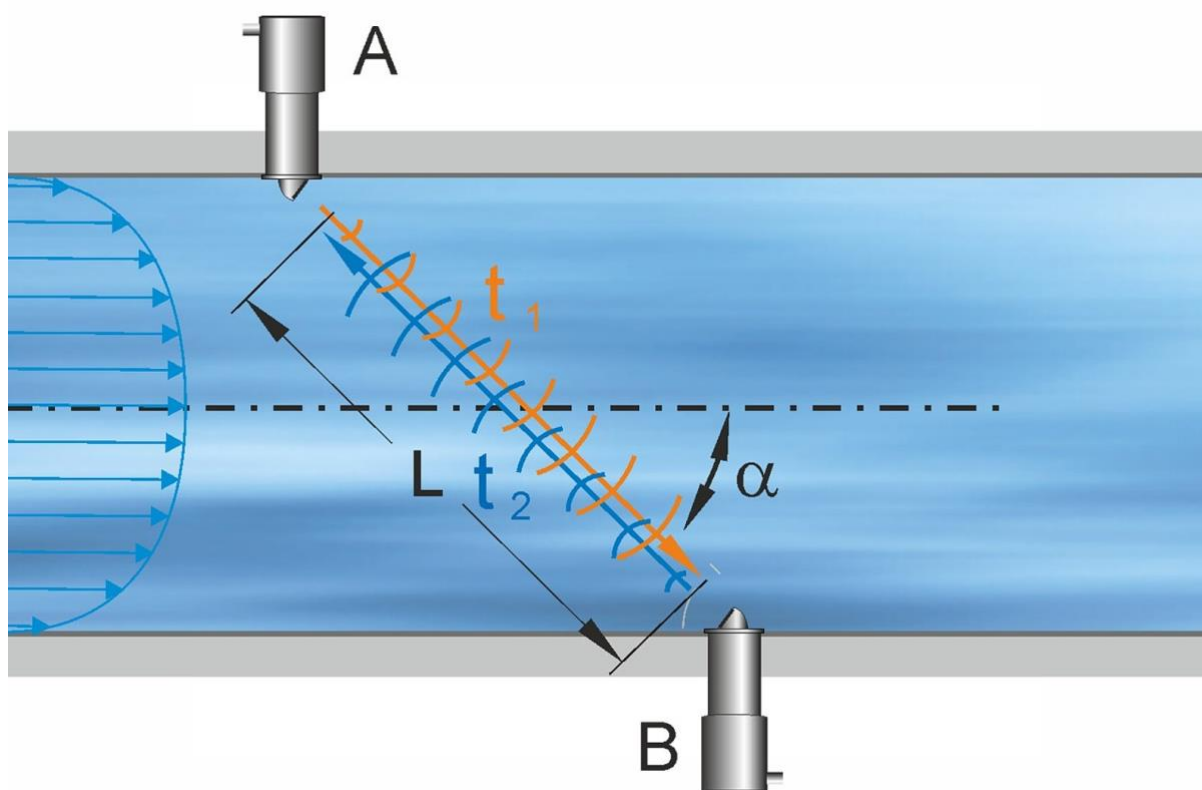


Рисунок 2.1. Схема методу вимірювання

Площини п'єзоелементів, які по чергово виконують функції випромінювача та приймача знаходяться під кутом θ до вісі труби. Тоді ультразвукові коливання проходять під кутом $\alpha = 90^\circ - \theta$ у речовині деяку відстань L (рис. 2.1) за час t_1 . Даний час менший від часу t_2 проходження даної відстані проти швидкості потоку. Тобто

$$\begin{cases} \tau_1 = \frac{L}{c + v \cos \alpha} = \frac{L}{c} \left(1 + \frac{v \cos \alpha}{c}\right)^{-1}; \\ \tau_2 = \frac{L}{c - v \cos \alpha} = \frac{L}{c} \left(1 - \frac{v \cos \alpha}{c}\right)^{-1}, \end{cases} \quad (2.1)$$

де c — швидкість звуку в даному середовищі,

v — швидкість руху газового середовища.

Отримаємо:

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2L}{c^2} \frac{v \cos \alpha}{1 - (v \cos \alpha / c)^2} \quad (2.2)$$

Оскільки $v \cos \alpha / c \ll 10^{-3}$, то рівняння (2.2) з великою точністю можна переписати так:

$$\Delta\tau = \frac{2L}{c^2} v \cos \alpha \quad (2.3)$$

Тому, різниця часу $\Delta\tau$ прямо пропорційна швидкості руху газового потоку v .

Результати обліку газу, в тому числі й комерційного, представляють в об'ємних одиницях, які приведені до стандартних умов, визначених за нормативними документами [17], при температурі 20 °С та абсолютному тиску 760 мм рт. ст. (101323.2 Па) [18, с. 40].

Розглянемо швидкість звуку в двох газах: метан і пропан (за стандартних умов) [19]:

- метан: 446 м/с;
- пропан: 258 м/с.

Було вирішено використати часоімпульсний метод вимірювання кількості газу, принцип роботи якого полягає у вимірюванні інтервалів часу між випромінюванням та прийомом УЗ імпульсів за потоком та проти нього. Пристрій одноканальний, має два п'єзоелектричні перетворювачі, кожен з яких по черзі

виконує функцію приймача та випромінювача. Структурна схема наведена на рис. 2.2.

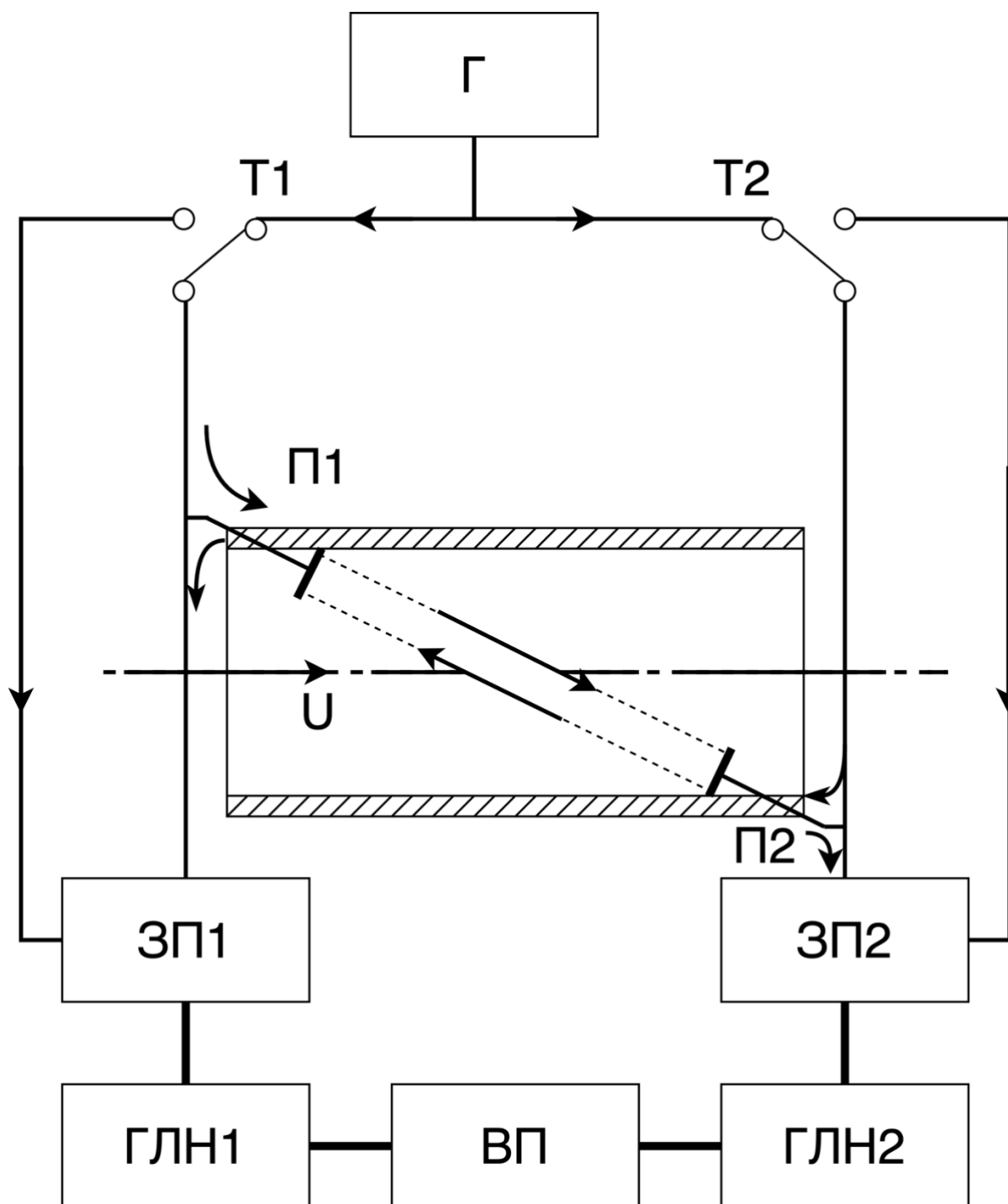


Рисунок 2.2. Структурна схема пристрою, який використовує часоімпульсний метод

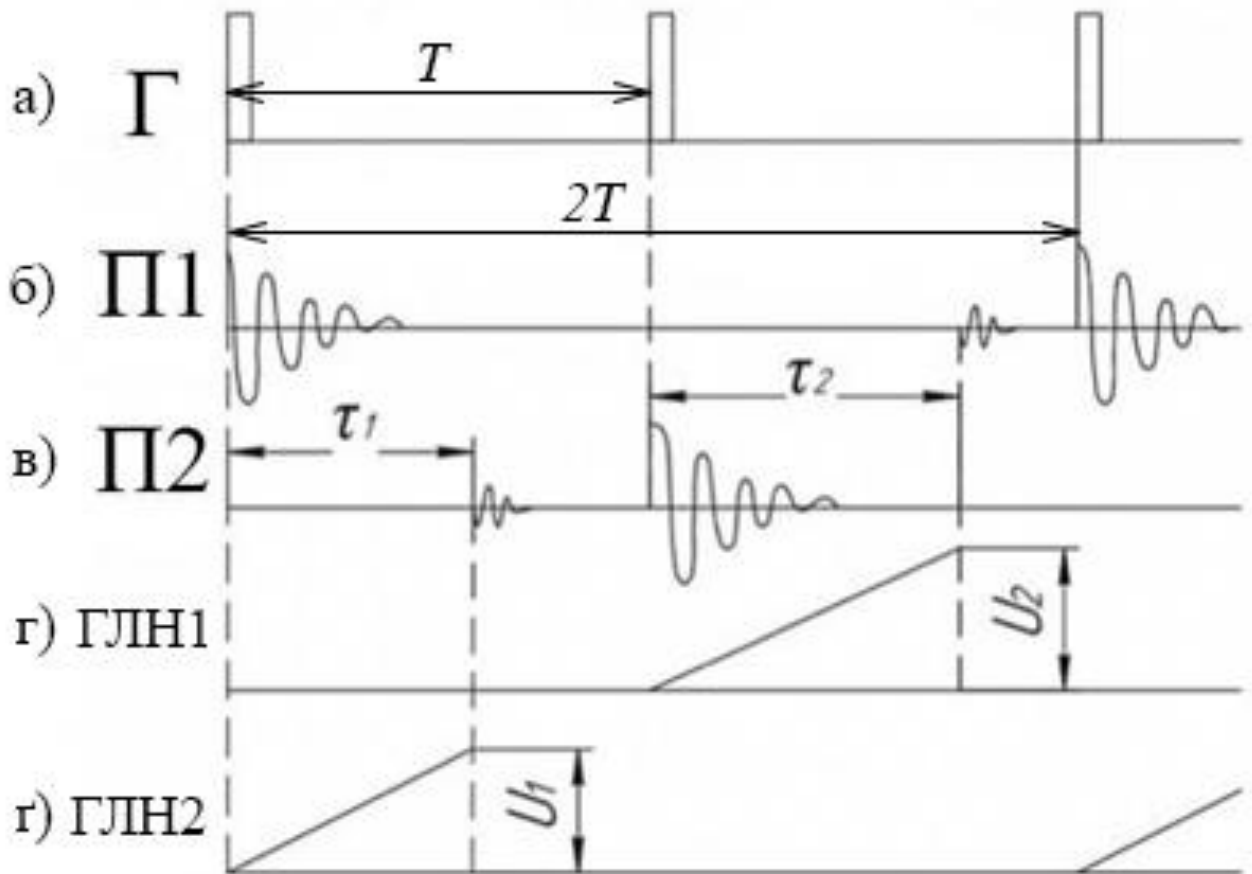


Рисунок 2.3. Часові діаграми контрольних точок

Принцип роботи пристрою:

1. Генератор «Г» створює імпульси з певними значеннями амплітуди, тривалості та частоти слідування (рис 2.3.а).
2. Згенеровані імпульси через тригери «Т1» і «Т2» одночасно надходять до п'єзоелементу «П1» і до зарядного пристрою «ЗП2», встановлюючи його в активний стан провідності.
3. П'єзоелемент «П1» випромінює в газ ультразвуковий імпульс (рис. 2.3.б), водночас вмикається генератор лінійної напруги «ГЛН2», який генерує пилоподібну напругу U_1 протягом часу τ_1 , який є часом проходження ультразвукових коливань від випромінювача «П1» до приймача «П2» (рис. 2.3.г). Максимальне значення U_1 цієї напруги є пропорційним до τ_1 .
4. В момент приходу УЗ імпульсу до п'єзоелементу «П2» зарядний пристрій «ЗП2» вимикає генератор «ГЛН2».

5. Наступним кроком є випромінювання імпульсу проти потоку: генератор «Г» створює новий імпульс, який тепер поступає на п'єзоелемент «П2».
6. П'єзоелемент «П2» випромінює в газ ультразвуковий імпульс (рис. 2.3.в), а генератор лінійної напруги «ГЛН1» генерує пилоподібну напругу U_2 пропорційну τ_2 — часу проходження УЗ імпульсу від випромінювача «П2» до приймача «П1» (рис. 2.3.г).
7. Пристрій «ВП» вимірює різницю напруг $U_2 - U_1$, з якої визначається значення різниці часу проходження імпульсів Δt .
8. Даний цикл повторюється з періодом $2T$, де T період роботи генератора «Г».

2.2. Вибір ультразвукових перетворювачів

У якості п'єзoeлектричних перетворювачів виберемо датчики **GU1409A–40TR**. Вони характеризуються відкритою структурою і можливістю окремого використання, компактністю та незначною вагою, високою чутливістю. Також можна відзначити низький рівень споживання електроенергії та високу стабільність. Загальний вид датчика **GU1409A–40TR** зображено на рис. 2.4.

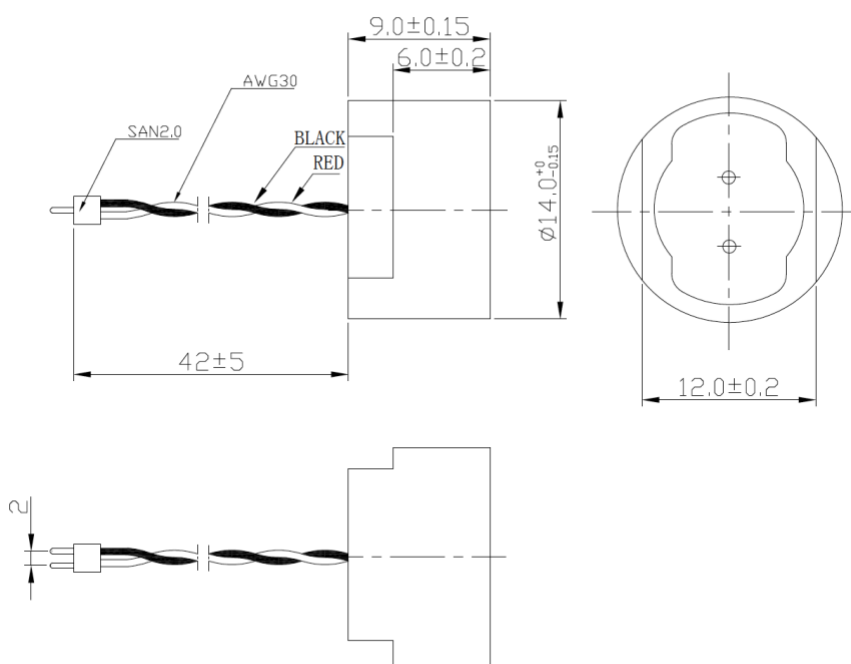


Рисунок 2.4. Загальний вид датчика GU1409A–40TR

Враховуючи позитивні фактори роботи та технічні характеристики датчиків (табл. 2.1), що відповідають потрібним технічним вимогам, дані датчики є вдалим вибором для роботи в приладі, що розробляється.

Таблиця 2.1. Технічні характеристики датчиків GU1409A–40TR

1	Центральна частота (кГц)	40 ± 1.0 кГц
2	Рівень звукового тиску (дБ)	$0 \text{ дБ} = 0.0002 \text{ мкБар} > 100 \text{ дБ}$
3	Чутливість (дБ)	$0 \text{ дБ} = 1 \text{ В/мкБар} > -74 \text{ дБ}$
4	Чутливість до ехо	$\geq 160 \text{ мВ}$
5	Час затухання	$\leq 1.2 \text{ мс}$
6	Направленість (град) по вісі X	120 ± 15
7	Направленість (град) по вісі Y	60 ± 10
8	Ємність (пФ)	$1800 \pm 15\%$
9	Допустима максимальна вхідна напруга (В)	140 (40 кГц) Ширина імпульса 0.5 мс, інтервал 20 мс
10	Робоча температура (°C)	$-40 \sim +80$
11	Температура зберігання (°C)	$-40 \sim +85$

2.3. Розрахунок інформаційного сигналу

В частотних і часоімпульсних витратомірах зазвичай вибирають високу частоту: 5–10 МГц, або навіть 20 МГц, тому що збільшення частоти сприяє збільшенню точності вимірювання. Але в газовому середовищі рекомендують зменшувати частоту до сотень і десятків кілогерц через складність створення в газах інтенсивних акустичних коливань, особливо високої частоти [13, с. 449].

Інформаційним сигналом буде короткий радіоімпульс з 4–ма періодами заповнення. Параметри імпульсу:

Тривалість імпульсу: $\tau = 100 \text{ мкс}$;

Частота слідування імпульсів: $f = 1\text{--}5 \text{ Гц}$;

Частота заповнення імпульса $\omega_0 = 40 \text{ кГц}$.

2.4. Основні джерела похибок витратомірів

Ультразвукові витратоміри та лічильники, мають певні недоліки та піддаються впливу завад різної фізичної природи. До основних факторів похибок належать:

Вплив швидкості розповсюдження ультразвуку.

На швидкість поширення ультразвуку значною мірою впливають зміни температури, тиску й складу, або концентрації окремих елементів, газу. Для боротьби з цим негативним впливом на точність можна використати термодкорекцію на зміни швидкості ультразвуку.

Вплив профілю швидкостей потоку.

Реальна епюра швидкостей потоку газу не має ідеальної форми при вимірюванні по хорді. Для більш коректного визначення середньої швидкості руху потоку вводять «гідродинамічний коефіцієнт k , який залежно від режиму потоку змінюється від 0.75 (для ламінарного) та 0.92..0.97 для турбулентного режимів» [12, с. 535].

Реверберація ультразвуку.

П'єзоелемент, в момент прийому УЗ хвилі, сприймає також і її ревербераційну складову, яка утворюється внаслідок багаторазового відбиття ультразвукової хвилі від випромінювального і прийомного елементів. Шляхами боротьби з такою завадою є зменшення циклу локації (до 1–5 імпульсів у секунду).

Великий вплив на точність вимірювань часових інтервалів вносять механічні вібрації, газодинамічні шуми. Для боротьби з ними застосовують кореляційні приймачі (КП). Розглянемо теоретичні засади побудови КП.

Кореляційні приймачі [20–22] відносяться до лінійних пристроїв зі змінними в часі параметрами. Основні елементи КП наведено на рисунку 2.5:

- помножувач вхідного сигналу $u_{вх}(t)$ на опорний $u_{оп}(t)$;
- фільтр нижніх частот (ФНЧ).

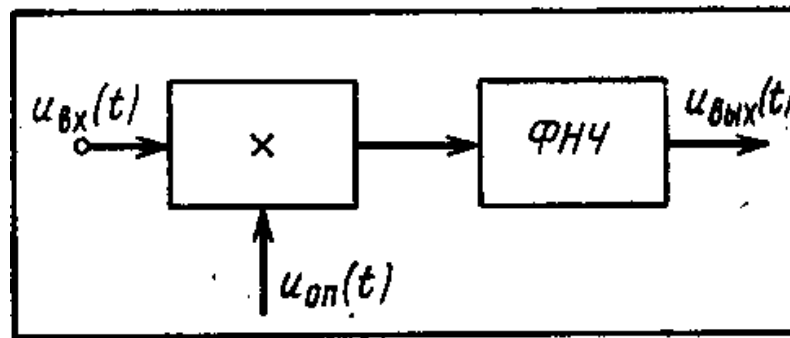


Рисунок 2.5. Схема кореляційного приймача

Адитивна суміш $x(t)$ сигналу $s(t)$ та завади $n(t)$ діє на вхід кореляційного приймача. Завадою є нормальний випадковий процес. Спостереження вхідного впливу проводиться за час T .

Загальне рішення можна записати у вигляді кореляційного інтегралу:

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T [s(t) + n(t)]b(t - \tau) dt \quad (2.4)$$

Вихідна реакція синхронного детектора матиме вигляд суми кореляційної функції сигналу $R_{ss}(\tau)$ та взаємної кореляційної функції $R_{ns}(\tau)$ сигналу та завади. КП виконується за схемою приймача сигналу з відомими параметрами (рис. 2.5). Адитивна суміш сигналу та завади подається на один з входів перемножувача. На інший вхід подається опорний сигнал, тобто еталон очікуваного сигналу. Ультразвукові сигнали зазнають суттєвих змін при розповсюдженні у газовому середовищі та при взаємодії з відбивачами. Тому вирішення задачі формування точної копії реального сигналу, який діє на вході приймача, є практично неможливим. Через ці причини як опорний сигнал використовують сигнал, що випромінюється.

У газовому лічильнику будуть використовуватися два КП. Розрахувавши по показання КП різницю часових затримок τ знаходимо по формулі (2.3) швидкість газового потоку.

Для підтвердження запропонованого рішення побудови приймача газового лічильника проведемо його моделювання в програмному пакеті Simulink.

2.5. Моделювання кореляційного приймача радіоімпульсу

В програмному пакеті Simulink синтезуємо кореляційний приймач для виявлення імпульсів $u_s(t) = U_{sm} \text{rect}((t - \tau_l)/t) \cos \omega_0 t$, замаскованих шумовою завадою з нормальним законом розподілу щільності ймовірності. Змінюючи відношення сигнал/завада (СЗ) оцінимо межу виявлення сигналу.

Побудуємо імітаційну модель (ІМ) кореляційного приймача в програмному пакеті Simulink (рис. 2.6).

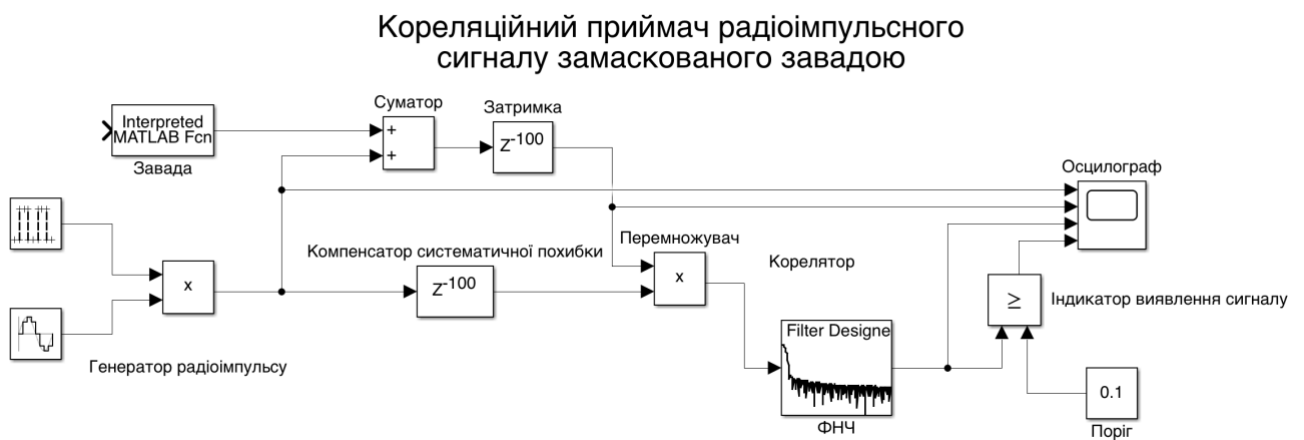


Рисунок 2.6. ІМ кореляційного детектора радіоімпульсів

Опис функціонування імітаційної моделі приймача:

1. Блок «Генератор радіоімпульсу» синтезує радіоімпульс із заданими параметрами.
2. Блок «Завада» імітує шумову заваду з нормальним законом розподілу щільності ймовірності.
3. Суматор здійснює додавання сигналу та завади.
4. Елемент «Затримка» створює часову затримку тривалістю 100 семплів.
5. На вхід перемножувача поступає адитивна суміш сигналу та завади, яка після цього подається на ФНЧ. Разом ці два елементи є блоком «Корелятор».
6. Елемент «Компенсатор систематичної похибки» розташований між виходом блоку «Генератор радіоімпульсу» та входом блоку «Корелятор». Його

призначення полягає у компенсації часової затримки (тривалістю 100 семплів), яку можна розглядати як систематичну похибку.

7. Сигнал з блоку «Корелятор» потрапляє на «Індикатор виявлення сигналу» — при присутності сигналу, що визначається умовою $u > 0$, на виході блоку отримуємо імпульс з амплітудою 1.

В імітаційній моделі задамо наступні параметри:

1. Час моделювання $T=1$ с.
2. Крок модельного часу $T_s=10^{-5}$.
3. Блок «Генератор радіоімпульсу»:
 - a. ефективне значення $U_s = 1B$;
 - b. тривалість імпульсу $\tau = 1$ мс;
 - c. частота опорного сигналу $f = 4000$ Гц.
4. Блок «Завада»:
 - a. ефективне значення завади $U_n = 1B$;
 - b. постійна складова процесу $U=0B$.
5. Частота зрізу фільтра нижніх частот ФНЧ становить 10 Гц.

Модельний експеримент

Вигляд осцилограм при співвідношенні сигнал/завада $q_1=1$ наведено на рис.

2.7. Послідовно зображені: синтезована послідовність радіоімпульсів, вхідна суміш сигналу та завади, сигнал на виході корелятора, сигнал індикатору виявлення сигналу.

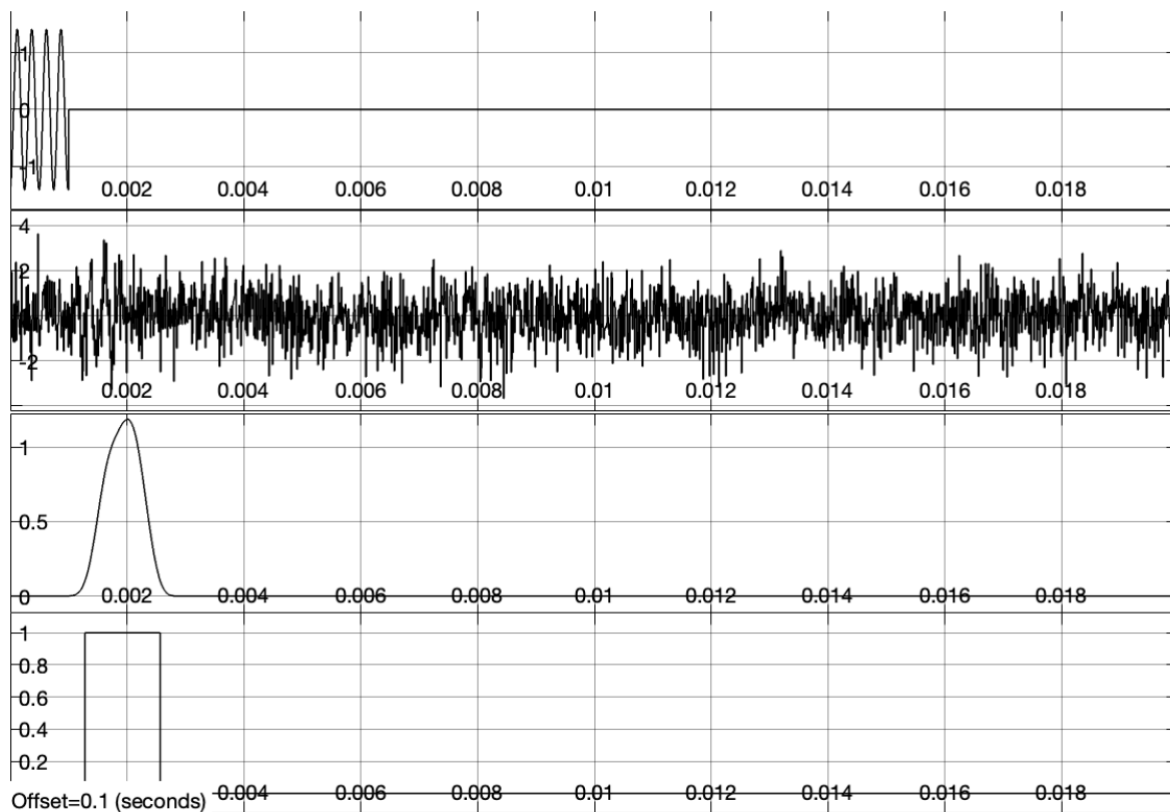


Рисунок 2.7. Сигнал (а), суміш сигналу із завадою (б), процес на виході корелятора (в), осцилограма виявлення сигналу (г)

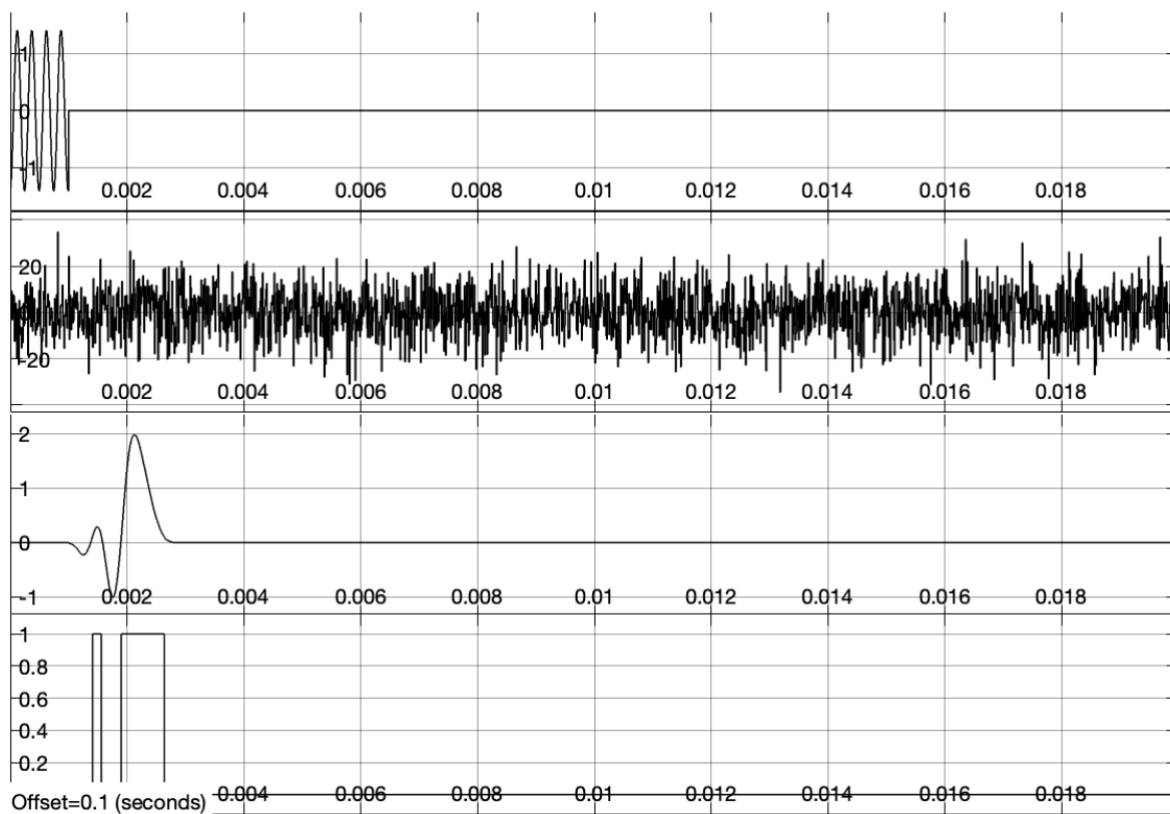


Рисунок 2.8. Виявлення сигналу при значенні сигнал-завада 0.1

Проведено ряд симуляцій, спрямованих на визначення межі виявлення сигналу — максимально допустимого співвідношення сигнал/завада. На рисунку 2.8 видно, що при значенні $q_1=0.1$ виникають неоднозначності у виявленні сигналу. Модельно визначено, що межею виявлення сигналу є значення сигнал-завада $q_1=0.25$.

2.6. Висновки до розділу 2

В даному розділі було описано метод вимірювання кількості речовини, побудовано структурну схему часоімпульсного лічильника газу, наведено принцип роботи пристрою. Досліджено можливі завади та джерела похибок, наведено шляхи боротьби з ними.

Здійснено комп'ютерне моделювання кореляційного приймача в газовому лічильнику: створено імітаційну модель у програмному забезпеченні Simulink. Проведено оцінку межі виявлення.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було досліджено науково-технічну інформацію, проаналізовано патентну інформацію, здійснено аналіз середовища проведення вимірювань — природний газ. Приведено перелік фізичних принципів покладених в основу функціонування пристрою і відомих інженерних рішень, проаналізовано сучасні методи вимірювання.

Досліджено ультразвукові методи вимірювання кількості газу. Розглянуто класифікацію, принципи роботи, особливості застосування та переваги й недоліки кожного з методів. Обрано метод вимірювання та сформовано технічні вимоги.

Було описано часоімпульсний метод вимірювання кількості газу, побудовано структурну схему часоімпульсного лічильника газу, наведено принцип роботи пристрою. Досліджено основні джерела похибок, наведено шляхи боротьби з ними.

Здійснено комп'ютерне моделювання кореляційного приймача в газовому лічильнику: створено імітаційну модель у програмному забезпеченні Simulink. Проведено оцінку межі виявлення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Smil V. Global primary energy consumption by source [Електронний ресурс] / Vaclav Smil, BP (British Petroleum) // Our World in Data. — Режим доступу: <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-substitution?stackMode=relative&time=2010..latest> (дата звернення: 13.05.2021). — Назва з екрана.
2. BP (British Petroleum). Renewable energy generation in the world [Електронний ресурс] / BP (British Petroleum) // Our World in Data. — Режим доступу: <https://ourworldindata.org/grapher/modern-renewable-energy-consumption> (дата звернення: 13.05.2021). — Назва з екрана.
3. BP (British Petroleum). Fossil fuel consumption by type in the world [Електронний ресурс] / BP (British Petroleum) // Our World in Data. — Режим доступу: <https://ourworldindata.org/grapher/fossil-fuel-consumption-by-type> (дата звернення: 13.05.2021). — Назва з екрана.
4. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” [Електронний ресурс] : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p #Text> (дата звернення: 13.05.2021). — Назва з екрана.
5. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник: книга 1 : довідник / П. П. Кремлевский. — 5-те вид. — Санкт-Петербург : Политехника, 2002. — 409 с.
6. Левицький Б. Ф. Гідравліка. Загальний курс : підручник / Б. Ф. Левицький, Н. П. Лещій. — Львів : Світ, 1994. — 264 с.
7. Бирюков Б. В. Испытания расходомеров / Б. В. Бирюков, М. А. Данилов, С. С. Кивилис. — Москва : Издательство стандартов, 1987. — 240 с.
8. Глухов А. П. Матеріали / А. П. Глухов, С. Н. Канаев // Каталог “ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЖКХ”. — I, II.

9. ГОСТ 5542-87. Газы горючі природні для промислового та комунально-побутового призначення. Технічні умови. — На заміну ГОСТ 5542-78 ; чинний від 1987-04-16. — Вид. офіц. — [Б. м. : б. в.], 1987.

10. Ультразвуковий витратомір [Електронний ресурс] : пат. 99227 Україна : G01F1/66 / Й. Й. Білинський. — № u201413183 ; заявл. 08.12.2014 ; опубл. 25.05.2015. — Режим доступу: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/629732/> (дата звернення: 13.05.2021). — Назва з екрана.

11. Ультразвуковий витратомір [Електронний ресурс] : пат. 40819 Україна : G01F1/66 / Ю. Г. Мельниченко. — № u200813781 ; заявл. 01.12.2008 ; опубл. 27.04.2009. — Режим доступу: <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/272279/> (дата звернення: 13.05.2021). — Назва з екрана.

12. Синько Д. О. Використання приладів та систем вимірювання витрати газу на базі акустичних методів / Д. О. Синько, І. В. Коробко, В. О. Пташніченко // Погляд у майбутнє приладобудування : матеріали наук.-практ. конф., Київ, 15—16 трав. 2018 р. — [Б. м.].

13. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник / П. П. Кремлевский. — 4-те вид. — Ленінград : Машиностроение, 1989. — 701 с.

14. Гідравліка : навч. посіб. / М. І. Гімер [та ін.]. — Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. — 327 с.

15. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник: книга 2 : довідник / П. П. Кремлевский. — 5-те вид. — Санкт-Петербург : Политехника, 2004. — 412 с.

16. Облік природного газу : Довідник / М. П. Андрієшин [та ін.]. — Івано-Франківськ : ПП “Сімик”, 2008. — 180 с.

17. ГОСТ 2939-63. Газы. Условия для определения объема. — На заміну ГОСТ 2939-45 ; чинний від 1964-01-01. — Вид. офіц. — Москва : Издательство стандартов, 1963. — 3 с.

18. Сучасні підходи до вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу / І. В. Щупак [та ін.] // Нафтогазова галузь України. — 2014. — № 5.

19. Zuckerwar A. J. Handbook of the speed of sound in real gases / Allan J. Zuckerwar. — [Б. м.] : Academic Press, 2002. — 1000 с.

20. Ольшевський В. В. Статистические методы в гидролокации / В. В. Ольшевський. — Ленинград : Судостроение, 1973. — 184 с.

21. Поиск, обнаружение и измерение параметров сигналов в радионавигационных системах. — Москва : Советское радио, 1975. — 296 с.

22. Митько В. Б. Гидроакустические средства связи и наблюдения / В. Б. Митько, А. П. Евтютов. — Ленинград : Судостроение, 1982. — 200 с.