«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний
(повна назва факультету)

Приладобудування
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ М.Д. Гераїмчук
(підпис) (ініціали, прізвище)

“___”_____2019 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра
з напряму підготовки 6.051003 Приладобудування

на тему: Лічильник біогазу

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи ПІ-51
(шифр групи)

Палян Георгій Владиславочич
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник д.т.н., проф., Коробко І.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____ _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2019 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ*

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	А4		Завдання на дипломний проект	2	
2	А4	ДП ПІ51. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	54	
3	А1	ДП ПІ51. 01.000 ТК		1	
4	А1	ДП ПІ51. 02.000 ТК		1	
5	А1	ДП ПІ51. 03.000 ТК		1	
6	А1	ДП ПІ51. 04.000 ТК		1	

				ДП XXXX 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.				Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.					1	1
Консульт.					КПІ імені Ігоря Сікорського Каф. _____ Гр. _____	
Н/контр.						
Зав.каф.						

* Відомість виконується згідно зі Стандартом відповідної галузі економіки

Пояснювальна записка
до дипломного проекту

на тему: Лічильник біогазу

Київ – 2019 року

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект (роботу) студенту
Паляну Георгію Владиславовичу

1. **Тема проекту** ***Лічильник біогазу***
керівник проекту *Коробко Іван Васильович, д.т.н., професор* _____ ,
затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. №1384-с

2. Строк подання студентом проекту 12 червня 2019р.
3. **Вихідні дані до проекту** (роботи) 3.1 Вимірюване середовище –біогаз. 3.2. Номінальний діаметр: DN15. 3.3. Значення вимірюваних витрат: Q_{min}=0,016м^3/год; Q_{max}= 2,6 м^3/год. 3.4. Похибка вимірювання, не більше ±1 %. 3.5. Температура вимірюваного середовища: t_{min} = 5^{0}С; t_{max} = 50^{0}С; 3.6. Максимальний тиск вимірюваного середовища, МПа – 6,3; 3.7. Густина газу за стандартних умов, кг/м^3 – 1,2. 3.8. Відносна вологість навколишнього середовища,– до 95%; 3.9 Атмосферний тиск – (760±40) мм рт. ст. [(101,3±3,99) кПа].
4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік завдань, які потрібно розробити)

а) проектно – конструкторський розділ. Огляд та аналіз існуючих лічильників газу та методів вимірювання витрати і кількості природного газу. Розробка принципової та структурної схем лічильника. Розробка математичної моделі лічильника. Розрахунки конструктивних елементів та лічильника в цілому. Розрахунки метрологічних характеристик приладу. Розробка конструкції лічильника

б) технологічний розділ. _____
_____

5. **Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу** (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) 5.1. Принципова та структурна схеми лічильника, 1 арк. фА1. 5.2. Лічильник газу. Складальний кресленник, 1 арк. ФА1. 5.3. Роторний вузол. Складальний кресленник, 1 арк. ФА1. 5.5 Графічні матеріали, 1арк.ФА1.

6**. Консультанти розділів проекту (роботи)***

Розділ		Підпис, дата

_____

	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	завдання прийняв
Технологічний	Антонюк В.С., професор		

7**. Дата видачі завдання** 14.03.2019р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів дипломного проекту	Примітка
1	*Ознайомлення із Т.З.*	*14.03.19 – 15.03.19*	
2	*Проведення аналізу патентних та літературних джерел*	*16.03.19 – 29.03.19*	
3	*Розроблення структурної і принципової схем приладу*	*30.03.19 – 04.04.19*	
4	*Розробка конструкції приладу*	*05.04.19 – 15.04.19*	
5	*Вибір та розробка основних елементів та вузлів*	*16.04.19 – 28.04.19*	
6	*Визначення та дослідження метрологічних характеристик приладу*	*30.04.19 – 06.05.19*	
7	*Виконання технологічного розділу*	*16.04.19 – 28.04.19*	
8.	*Виконання графічної частини*	*05.04.19 – 25.05.19*	
9	*Аналіз отриманих результатів*	*26.05.19*	
10	*Оформлення ПЗ та ілюстративного матеріалу*	*27.05.19 – 11.06.19*	
11	*Подача дисертації на перевірку*	*12.06.19*	

Студент _____ Палян Г.В.

Керівник проекту _____ Коробко І.В.

Студент: Палян Георгій Владиславович, гр. ПІ-51
Заклад: НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»
Керівник: Коробко Іван Васильович

Анотація

В даному дипломному проекті розроблено конструкцію лічильника біогазу.

Графічна частина складається з 4 аркушів А1: Принципова та структурна схеми лічильника, складальний кресленик лічильника біогазу, складальний кресленик роторного вузла лічильника біогазу та графічні матеріали.

Пояснювальна записка включає в себе такі розділи:

- Аналіз фізико-хімічних властивостей біогазу.
- Аналіз методів, приладів і систем вимірювання об’єму та об’ємної витрати газу.
- Аналіз роторних лічильників.
- Висновки і список літератури.

Student: Palian Heorhii Vladyslavovych gr. PI-51

Institution: "Kyiv Polytechnic Institute". Igor Sikorsky

Director: Korobko Ivan

Summary

In this diploma project a design of a biogas meter is developed.

The graphic part consists of 4 sheets A1: Principal and structural diagram of the meter, assembly line of the biogas meter, assembly line of the rotary knife of the biogas meter and graphic materials.

The explanatory note includes the following sections:

- Analysis of physical and chemical properties of biogas.
- Analysis of methods, devices and systems for measuring the volume and volume of gas consumption.
- Analysis of rotary counters.
- Conclusions and list of literature.

Зміст

- Аналіз фізико-хімічних властивостей біогазу.
- Аналіз методів, приладів та систем вимірювання об’єму та об’ємної витрати.
- Аналіз роторних лічильників.
- Технологічний розділ.

Вступ

У зв’язку з прогнозованим вичерпанням основних видобувних енергоносіїв у найближчі 40-50 років, енергія з відновлювальних ресурсів є однією з найбільш обговорюваних тем в Європі та в усьому світі. Величезні викиди вуглекислого газу і метану в атмосферу призводять до збільшення парникового ефекту. Інвестиції в розвиток технологій одержання енергії з поновлюваних джерел, таких як енергія сонця, вітру, води, біомаси (органічні речовини тваринного або рослинного походження), або геотермальна енергія нині стає гострою необхідністю. Насамперед проблема диверсифікації енергетичних джерел постає перед країнамиімпортерами видобувної паливної сировини, якою є й Україна. Вона не має в достатній кількості власних запасів паливно-енергетичних ресурсів і напряму залежить від імпортерів, які поставляють 75 % необхідного обсягу природного газу та 85 % нафти й нафтопродуктів і встановлюють рік у рік дедалі вищі ціни. Значними споживачами паливно-енергетичних ресурсів є вітчизняні аграрні підприємства, тому перед ними постає об’єктивна необхідність впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій, орієнтованих на виробництво біологічних видів палива.

Виробництво біогазу є ефективною та інвестиційно привабливою технологією, що зумовлюється наявністю значного сировинного потенціалу, сприятливими природно-кліматичними умовами та низьким рівнем собівартості даного виду

енергії.

Тому розробка лічильника для даного виду палива є досить перспективною та має принести користь суспільству.

1.АНАЛІЗ ФІЗИКО – ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІОГАЗУ

До органічних залишків і відходів сільськогосподарського виробництва відносяться головним чином екскременти тварин і рослинні матеріали, особливо солома, а також бурякова і картоплиння і інші рослинні залишки, якщо вони не використовуються безпосередньо як корм. Вміщені в цих органічних матеріалах компоненти в більшості випадків можуть бути знову використані як рослинні добрива, що дозволить таким чином замінювати мінеральні добрива, що вимагають великих витрат енергії і коштів. Завдяки відносно високій теплоті згорання ці матеріали мають так само енергетичний потенціал, який може бути використаний різними способами. Один з них - виробництво газу (біогазу) з високим вмістом енергії шляхом анаеробного бродіння.

Сировину, що піддається метановому бродінню, можна поділити на три категорі:

- сільськогосподарську: гноївка, гній, енергетичні культури, залишки біомаси тощо;
- промислову: крохмаль, відходи скотобоєнь, молочних і цукрових заводів, фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості тощо;
- господарську: органічні відходи, комунальні стоки тощо.

Ферментаційний матеріал можна також розділити на основний (ферментація якого може протікати самостійно, без додавання інших речовин) та допоміжний. Основним ферментаційним матеріалом вважають гній, гноївку, молоду траву, а допоміжним – відходи від переробки фруктів, органічні відходи, залишки їжі, жири, меляса, органічні продукти, що розкладаються природно (біологічним шляхом), господарські стоки тощо[34].

Продукт анаеробного бродіння – біогаз − є багатокомпонентним газом, склад якого варіюється залежно від вихідної сировини, умов та часу бродіння.

Переробка сировини на метан відбувається в ході складних взаємодій у змішаних популяціях бактерій, що належать до групи археїв, відомих під загальною назвою метаногенів.

Процес розкладання біомаси метаногенами можна розділити на 4 етапи (рис. 1.1):

На першому етапі анаеробного бродіння органічних речовин шляхом біохімічного розщеплення (гідролізу) спочатку відбувається розкладання високомолекулярних сполук (вуглеводів, жирів, білкових речовин) за допомогою ферментів на низько молекулярні органічні сполуки, такі як цукор, амінокислоти, жирні кислоти і воду. Ферменти, виділені гідролізними бактеріями, прикріпляються до зовнішньої стінки бактерій (так звані екзоферменти) і при цьому розщеплюють органічні складові субстрату на малі водорозчинні молекули. Полімери (багатомолекулярні утворення) перетвоюрюються на одномери (окремі молекули). Цей процес, що отримав назву гідроліз, проходить повільно і залежить від позаклітинних ферментів, таких як амілази, протеази, ліпази тощо. На процес впливає рівень pH (оптимальний – 4,5-6) і час пербування в резервуарі.

На другому етапі за участю кислотообразующих бактерій відбувається подальше розкладання з утворенням органічних кислот і їх солей, а так само спиртів, CO_2 і H_2, а потім H_2S і NH_3 . Окремі молекули проникають в клітини бактерій, де вони продовжують розкладатися. У цьому процесі частково беруть участь анаеробні бактерії, що споживають залишки кисню, створюючи при цьому необхідні для матанових бактерій анаеробні умови. При рівні pH 6-7,5 виробляються в першу чергу нестійкі жирні кислоти (оцтова, мурашина, масляна, пропіонова), низькомолекулярні алкоголі (етанол), вуглець і гази – вуглекислий газ, воденень, сірководень і аміак. Цей етап називають фазою окислення (рівень pH знижується).

Третій етап. Після цього воднепродукуючі бактерії з органічних жирних кислот створюють вихідні продукти для утворення метану: оцтову і мурашину

кислоту, вуглекислий газ, водень. Такі бактерії, що знижують кількість вуглецю (в складі органічних кислот), є дуже чутливими до температури.

На останньому, четвертому етапі, за допомогою метаноутворюючих бактерій з оцтової і мурашиної кислоти, вуглецю і водню утворюється метан, вуглекислий газ і вода. 90% всього метану виробляється на цьому етапі, причому 70% метану утворюється з оцтової кислоти. Таким чином, утворення оцтової кислоти (тобто третій етап і в меншій мірі другий етап) є фактором, що визначає швидкість утворення метану. Метаноутворюючі бактерії виключно анаеробні.

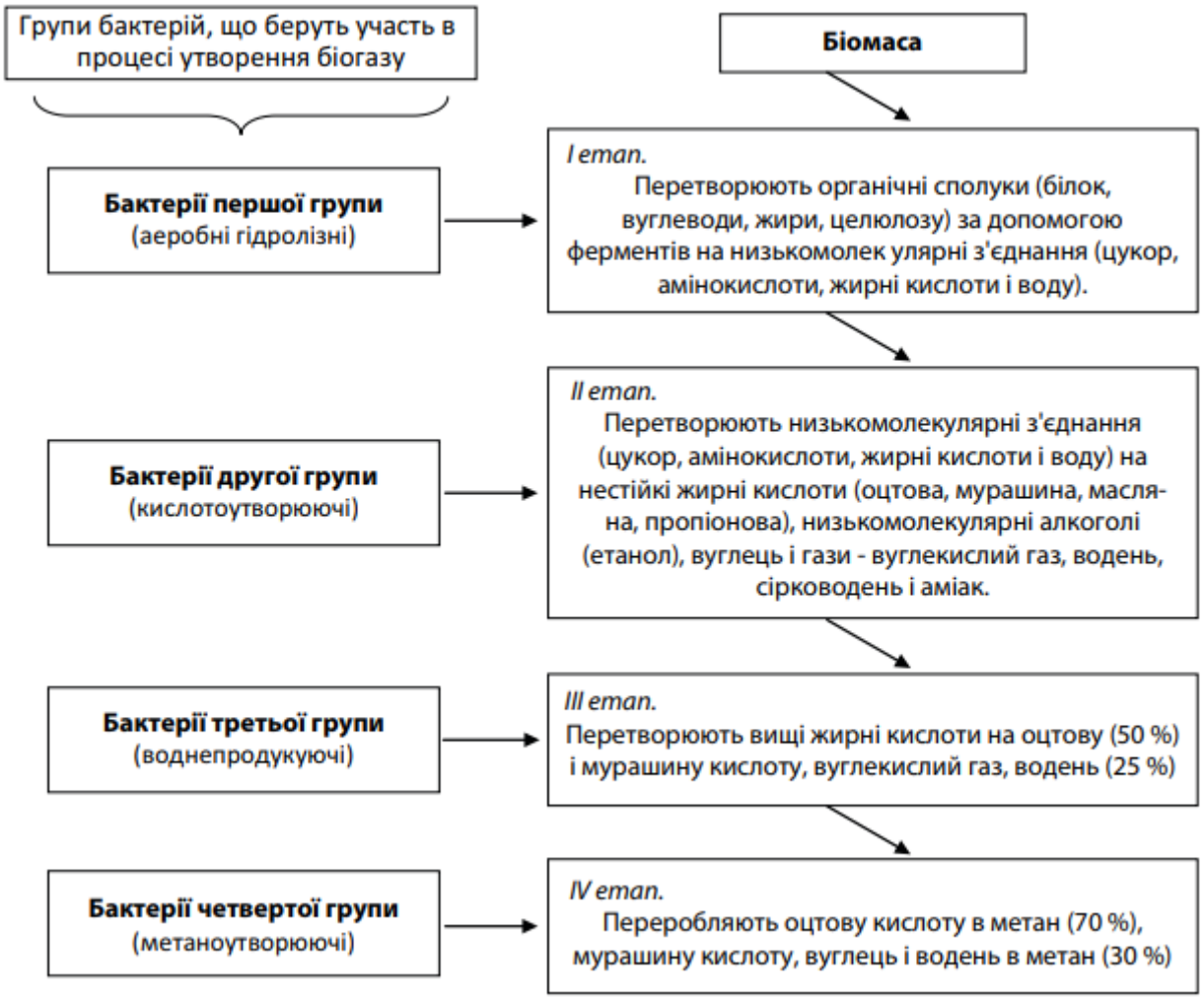

Рисунок 1.1 - Процес метанового бродіння.

Ці стадії анаеробного зброджування можуть бути узагальнені наступними рівняннями:

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 4H_2 + 2CO \qquad (1.1)$$

$CH_3CH_2OH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2H_2$ (1.2)

$CH_3CHOHCOOH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2H_2 + CO_2$ (1.3)

$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$ (1.4)

$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO$ (1.5)

$CH_3CH_2CH_2CH_2COOH + 4H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 5H_2 + CO_2$ (1.6)

де $C_6H_{12}O_6$ – глюкоза; CH_3CH_2OH – етанол; $CH_3CHOHCOOH$ – лактат; $CH_3CH_2CH_2COOH$ – масляна кислота; CH_3CH_2COOH – пропіонова кислота; $CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$ – валеріанова кислота; H_2O – вода; CH_3COOH – оцтова кислота; H_2 – водень; CO_2 – вуглекислий газ.

У подальшому, метаногенез відбувається за рахунок діяльності мікроорганізмів, які відновлюють вуглекислий газ до метану, а також таких, що розкладають в кінцевому підсумку оцтову кислоту на метан і вуглекислий газ [8]. Рівняння біохімічних реакцій стадії метаногенезу анаеробної ферментації мають наступний вигляд:

$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ (1.7)

$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$ (1.8)

де CH_4 – метан.

Ці реакції протікають одночасно, причому метаноутворюючих бактерії пред'являють до умов свого існування значно вищі вимоги, ніж кислотообразующие. Так, наприклад, вони потребують абсолютно анаеробної середовищі і вимагають більш тривалого часу для відтворення. Швидкість і масштаби анаеробного бродіння метаноутворюючих бактерій залежать від їх метаболічної активності.

В процесі розщеплення продукти переварювання (обміну речовин) кожної групи бактерій виступають живильними речовинами для наступної групи бактерій.

Розщеплення органіки наокремі складові і перетворення на метан може відбуватись лише у вологому середовищі, оскількі бактерії можеть

переробляти лише речовини в розчиненому вигляді. Таким чином, для бродіння твердих субстратів існує потреба у додаванні води [33].

Пофазне розщеплення органіки відбувається нерівномірно, адже різні групи бактерій працюють з різною швидкістю. Швидше за всіх працюють кислотоутворюючі бактерії, що розщеплюють органіку вже протягом часу від декількох годин до 2 днів. В ідеальному випадку між фазами розщеплення встановлюється динамічна рівновага в концентрації речовин, а саме: між подачею живильних речовин і їх розщепленням. Найчастішою помилкою є перегодовування бактерій субстратом, який швидко розщеплюється, що призводить до накопичення кислот в результаті дії кислотоутворюючих бактерій. У зв'язку з цим може наступити дуже різке падіння рівня pH, якого не витримають інші види бактерій. Крім того, надлишкова концентрація виробленої речовини призводить до затримки росту групи бактерій, що виробляють її.

Динамічна рівновага також визначається легкістю розщеплення субстрату. Цукор і крохмаль, наприклад, через свою просту структуру розщеплюються дуже швидко і вимагають лише короткого часу перебування у ферментаторі. Чим складніша структура субстрату, тим довше буде тривати розщеплення. Целюлоза і геміцелюлоза мають широко розгалужену структуру і розкладаються повільно. Лігнін (здерев'яніла речовина рослин), кількість якого збільшується з віком рослини, розкладається бактеріями дуже погано, оскільки він проявляє стійкість навіть до кислот.

Швидкість розщеплення субстратів має прямий вплив на технічно необхідний час для бродіння. Таким чином, вже при плануванні типу і конструкції біогазової установки варто чітко визначити, які субстрати використовуватимуться для бродіння.

Якщо ферментатор по-новому заповнити субстратом, то після проходження окремих фаз процесу розщеплення біогаз утворюється повільно. Кількість виробленого щодня біогазу зростає до того моменту, поки не буде досягнуто максимуму. В цей час субстрат, який легко розкладається, буде

перероблений і бактеріям залишаться лише речовини, які важко переварювати. Таким чином, кількість газу, що виробляється щодня, знижуватиметься до тих пір, поки не буде розщеплений весь доступний матеріал або поки субстрат не можна буде розщеплювати далі. Це і є той момент, коли кількість виробленого газу настільки мала, що довгострокове перебування субстрату у ферментаторі більше недоцільне з економічної точки зору. Тобто на практиці ніколи не буває повного розщеплення органіки.

Ефективний перебіг метанової ферментації органічних речовин потребує виконання чотирьох основних умов:

- безкисневої атмосфери;
- відповідної температури маси, що зброджується;
- слабо-лужної реакції середовища;
- присутність бактерій, що виробляють метан.

Виділення метану із речовини, що піддається ферментації, проходить лише в анаеробних умовах, тобто тоді, коли немає доступу кисню (повітря). Тому ферментація повинна протікати у спеціальних резервуарах, закритих ферментаційних камерах та іншому подібному обладнанні.

Дуже важливим фактором ефективного протікання процесу ферментації є температура маси, що зброджується. За оптимальною температурою життєдіяльності метаноутворюючі бактерії можна розділити на три групи (рис. 1.2).

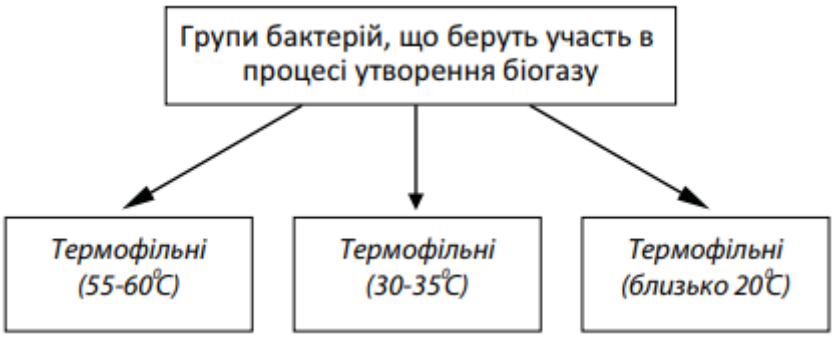

Рисунок 1.2 - Класифікація метаноутворюючих бактерій за температурним режимом.

Термофільні бактерії більш продуктивні, ніж мезофільні. Завдяки цьому, при однаковій кількості виробництва біогазу за день, місткість ферментаційних резервуарів може бути значно меншою. Разом з тим, враховуючи необхідність підтримання більш високої температури маси, що бродить, витрати теплової енергії при реалізації термофільних процесів є значно вищими. При низькій температурі навколишнього середовища та недостатній ізоляції резервуара витрати теплової енергії можуть бути настільки великими, що біогазу, який виробляється, не вистачить для обігрівання бродильної маси. У зв'язку з цим у європейських кліматичних умовах ферментаційні камери звичайно працюють у мезофільному діапазоні температур.

Важливою умовою забезпечення регулярного протікання біохімічних процесів в метантенку є слабо-лужна реакція бродильного середовища, при цьому задовільним вважають pH на рівні 6-8 (оптимальне значення знаходиться в межах 7-7,5 pH). Надто лужна реакція сприяє ферментації через патогенне гниття, але викликає небажане виділення сірководню. У надто кислому середовищі (при ферментації побутових відходів, виділень свиней) метанове бродіння може зупинитись із блокуванням виділення біогазу.

Суттєве значення в процесі бродіння мають мікроорганізми. Для забезпечення метанової ферментації необхідна наявність у речовині метаногенних мікроорганізмів. Ці мікроорганізми розвиваються лише у сприятливих умовах - в анаеробному середовищі з слабо-лужною реакцією. Для поліпшення протікання ферментації необхідне прищеплення відповідних колоній бактерій. Бажано також стимулювати початок ферментації шляхом додавання вже ферментованого субстрату, тобто прищепити сировині бактерії відповідного штаму, які реалізують цей процес. З метою уніфікації температури органічної речовини, що піддається ферментації, а також розповсюдження мікроорганізмів в біомасі, проводять систематичне її перемішування. Перемішування зброджуваної речовини попереджає місцеву ферментацію, що

викликається патогенами [35].

Таким чином, анаеробне зброджування з отриманням біогазу є складним біотехнологічним процесом, який потребує подальшого удосконалення технологічного обладнання для забезпечення максимального виходу біогазу та підвищення економічної ефективності переробки рослинної біомаси та гною в органічні добрива.

Основними компонентами біогазу є метан (50…70%), вуглекислий газ (25…45%). Також до складу входять сірководень та водень, загальна частка яких не перевищує 3%. Рівень баластових домішок в біогазі сягає рівня 50%, які не тільки перешкоджають використанню газу, але і шкодять обладнанню, трубопроводам та газгольдерам. Як вже було сказано вище, до основних компонентів біогазу відносяться CH_4 і CO_2, співвідношення яких залежить від вихідного субстрату і характеристик процесу бродіння (температури, часу перебування маси в реакторі, завантаження робочого простору). Поряд з цим найважливішими компонентами біогаз містить незначні кількості H_2 і H_2S, а також N_2.

Таблиця 1.1 – Склад і характеристики біогазу[1]

Характеристика	Компоненти біогазу				Біогазова суміш (60% CH_4+40% CO_2)
	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	
Об'ємна частка, %	55..70	22..44	<1	<3	100
Об'ємна теплота згоряння, МДж/м³	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Межа займистості (вміст у повітрі), %	5..15	-	4..80	4..45	6..12

Температура займання, ˚С	650..750	-	585	-	650..750
Критичний тиск, МПа	4,7	7,5	1,3	8,9	7,5..8,9
Критична температура, ˚С	-82,5	31	-	100	-2,5
Нормальна густина, г/л	0,72	1,93	0,09	1,54	1,2
Критична густина, г/л	102	468	31	349	320
Густина відносно повітря	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83

Наведені в таблиці фізичні властивості біогазу дозволяють судити про можливості його практичного використання та необхідних для цього прийомах. Об'ємна теплота згоряння визначається в основному вмістом CH_4, оскільки незначна кількість водню і сірководню на цей показник практично не впливають. Відповідно температура займання і межа займистості теж залежать від змісту CH_4. При з'ясуванні можливості зниження газової суміші необхідно враховувати критичне тиску і температури окремих її компонентів. Ці значення показують, що скраплення біогазу з практичної точки зору. При використанні біогазу слід враховувати різницю в щільності окремих його компонентів. У прохідній невентеліруемих приміщеннях це може призвести до небезпечного для життя людей накопиченню CO_2 і H_2S в нижніх шарах повітря. Крім того, скупчення CH_4 пов'язано з небезпекою вибуху.

2.ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ, ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ.

Методи вимірювань витрати газу- методи, реєстрації фізичних або механічних величин, які безпосередньо зв'язані з витратою.

Існуючі пристрої обліку газу за пропускною здатністю можна поділити на такі групи:

- побутові - з пропускною здатністю до 6 м³/год;
- комунально-побутові – з пропускною здатністю до 16 м³/год;
- промислові – з пропускною здатністю 16 м³/год і більше;

За методом вимірювання ВПВ можна класифікувати на наступні групи:

1. Основані на гідродинамічних методах:
   - змінного перепаду тиску (витратоміри з звужуючим пристроєм);
   - постійного перепаду тиску (ротаметри, золотникові);
   -вихрові (вихрові, струйні);

2. З безперервним рухомим тілом:
   - об'ємні (роторні, мембранні, барабанні, камерні);
   -швидкісні (турбінні);

3. Основані на різноманітних фізичних явищах:
   -акустичні (ультразвукові);
   -коріолісові;
   -теплові (термоанемометричні);

Витратоміри змінного перепаду тиску.

Одним із найбільш поширених методів вимірювання витрати є метод змінного перепаду тиску. Суть їх роботи в тому , що під час протікання газу через звужуючий пристрій частина потенційної енергії потоку переходить у кінетичну, при цьому середня швидкість потоку в звуженому перетині

підвищується, а тиск зменшується. Різниця цих тисків (Δр) залежить від швидкості газу і буде тим більша, чим більша витрата газу, що протікає.

В залежності від того, як використовується різниця тисків (Δр), ВПВ, згрунтованні на законі Бернуллі, ділять на змінного та постійного перепаду тиску. В ВПВ змінного перепаду тиску для визначення витрати речовини використовують звужуючий пристрій (діафрагму або сопло), який не змінює своє положення, і вимірюють дифманометром різницю тисків до та після звужуючого пристрою[5].

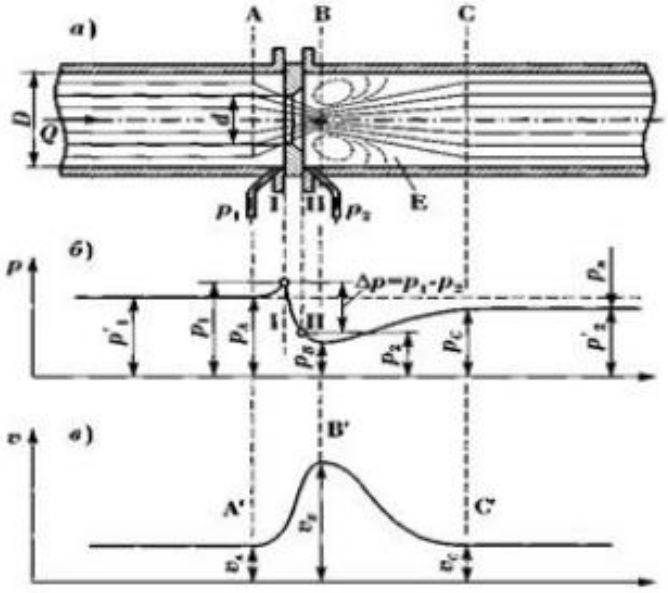

Рисунок 2.1 - Профіль потоку через діафрагму.

На рис 2.1 показано профіль потоку через діафрагму завихрення (рис.2.1.а), а також розподіл тиску по довжині трубопроводу (рис. 2.1.б,в).

Потік Q звужується перед діафрагмою, проходить діафрагму і по інерції ще зменшується в перерізі на певній віддалі за діафрагмою, а вже потім зростає в перерізі і поступово заповнює весь переріз трубопроводу.

Тиск потоку перед діафрагмою дещо зростає за рахунок підпору перед діафрагмою[5].

В перетворювачах змінного перепаду тиску замість перерізу потоку використовують площину звужувального пристрою, тому формула об’ємної витрати приймає вид[5]:

$$Q = \alpha\sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}S_0 \qquad (2.1)$$

де α – постійний коефіцієнт витрати для даної речовини, що залежить від діаметру трубопроводу, який визначає F_1 , і типу звужуючого пристрою, а також фізичних властивостей потоку (так званого числа Рейнольдса Re).

Витратоміри змінного перепаду тиску є найпоширенішими при вимірюванні рідин, пари і тиску. Типи звужуючих пристроїв, які використовують для зменшення поперечного перерізу труби показані на рис 2.2. В якості звужуючих пристроїв, крім діафрагм, використовуються нормальні сопла, подовженні та короткі сопла Вентурі і нестандартні пристрої з гідравлічним опором (крани, клапани, заслінки, теплообмінники та інші)[5].

Комплект такого витратоміра включає в себе звужувальний пристрій, з'єднувальну лінію, диференційний манометр з тим або іншим передавальним перетворювачем і вторинний прилад [5].

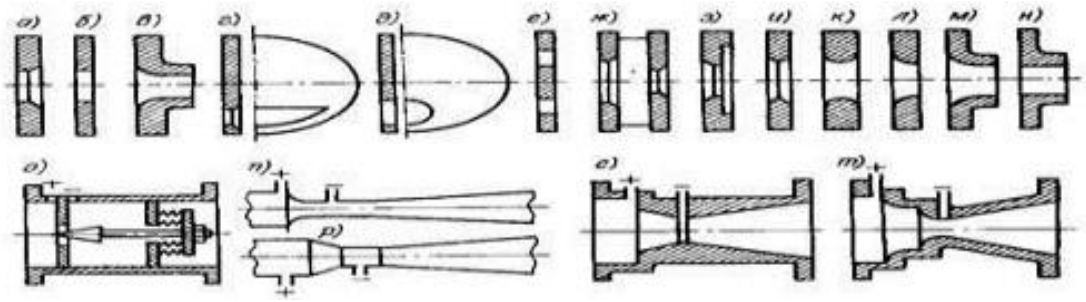

Рисунок 2.2 - Типи звужуючих пристроїв: у верхньому рядочку показані типи діафрагм та нормальних сопел, а в нижньому – сопла Вентурі.

Переваги витратомірів та лічильників змінного перепаду тиску:

- універсальність застосування;
- вимірювання витрат різної величини в трубах практично будь-якого діаметру і при будь-якому тиску і температурі;
- зручність масового виробництва (індивідуально виготовляється тільки звужуючий пристрій, всі інші частини виготовляються серійно);

- відсутність необхідності еталонних установок у випадку застосування перетворювачів витрати стандартних звужуючих пристроїв, встановлених в трубопроводах, що мають діаметр не менше 50 мм.

Недоліки:

- квадратична залежність між витратою і перепадом тиску, наслідком чого є нерівномірність шкали;
- дуже малий діапазон вимірювань 3:1;
- обмеження при їх застосуванні для зміни витрат;
- інерційність витратомірів зростає із збільшенням довжини трубок, що з'єднують звужуючий пристрій з дифманометром;
- похибка вимірювань може лежати у досить широких межах залежно від стану звужуючого пристрою, діаметра трубопроводу, постійності тиску і температури вимірюваного середовища.

Витратоміри постійного перепаду тиску.

В ВПВ постійного перепаду тиску в якості звужуючого пристрою використовується поплавок, який змінює своє положення в спеціальній конічній трубці, що забезпечує постійність різниці тисків під і над поплавком. Тут при зміні витрат середовища змінюється прохідний перетин за рахунок переміщення робочого елемента в гору- поплавка в ротаметрах або поршня в поршневих витратомірах. Переміщення робочих елементів перетворюється в електричний сигнал за допомогою трансформаторних перетворювачів. Ротаметри застосовуються для вимірювання витрат газоподібних і рідких середовищ [6].

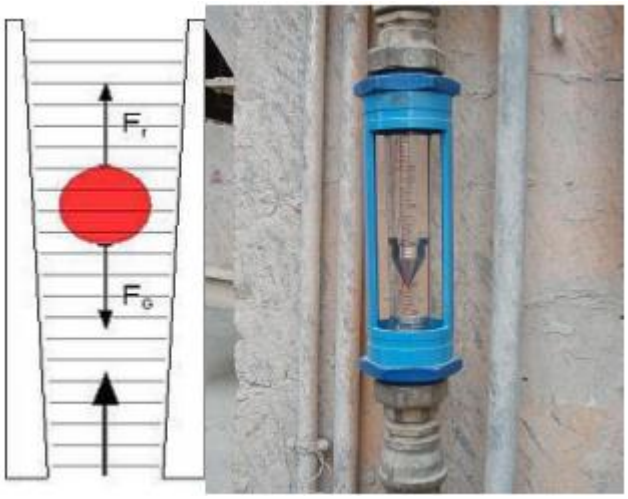

Рисунок 2.3 - Витратомір з тілом обтікання, ротаметр.

Вихрові витратоміри.

Вихровим називають витратоміри, засновані на залежності від витрати частоти коливань тиску, що виникають у потоці в процесі вихроутворення або коливання струменя.

В основі методики вимірювань лежить явище, що має назву «Вихрова доріжка Кармана», згідно з яким при обтіканні нерухомого твердого тіла потоком рідини за тілом утворюється вихрова доріжка, що складається з вихорів, які позачергово зриваються з протилежних боків тіла (рис 2.4) [3].

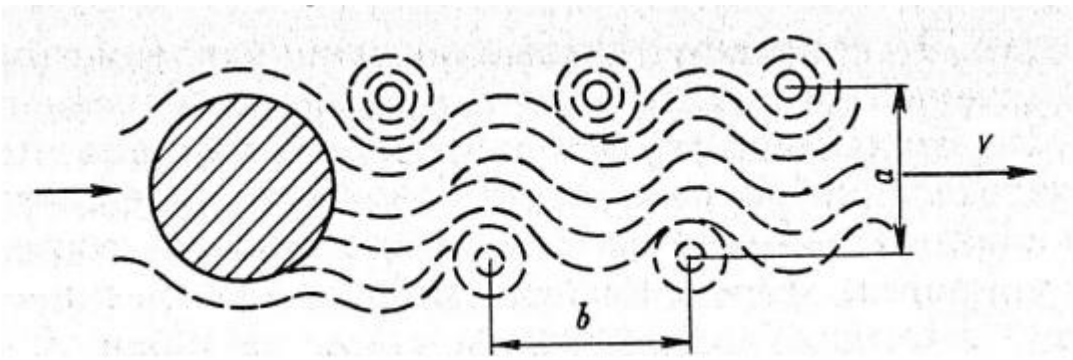

Рисунок 2.4 - Вихрова доріжка

Частота утворення вихорів *f* за тілом у першому наближені є пропорційною до швидкості потоку *V* і залежить від безрозмірного критерія *Sh* (числа Струхала) і ширини тіла обтікання

$$f = Sh \cdot \frac{V}{d} \qquad (2.2)$$

де Sh – безрозмірний коефіцієнт (число Струхаля), f – частота вихрових коливань, V – швидкість потоку, d – характерний розмір обтікаємого тіла.

Детектування вихорів та визначення частоти їх утворення дозволяє визначити швидкість та об'ємну витрату рідини. У залежності від способу визначення частоти вихорів розрізняють вихрові витратоміри на основі п'єзодатчиків та вихроакустичні витратоміри.

Вихрові витратоміри на основі п'єзоелектричних давачів.

У вихрових витратомірах на основі п'єзоелектричних давачів для створення вихрового руху на шляху потоку рідини, газу або пари встановлюється тіло обтікання, зазвичай з трапецевидним або трикутним перетином (рис. 2.5).

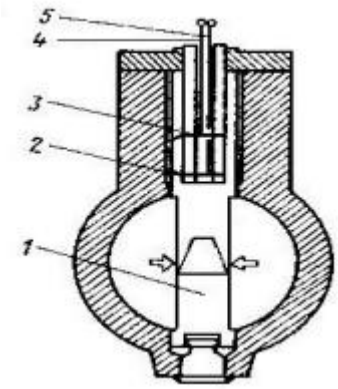

Рисунок 2.5 - Перетворювач вихрового витратоміра з п'єзоелементами, реагуючого на вібрацію тіла обтікання.

Типова схема такого вихрового витратоміра включає проточну частину витратоміра, встановлену за допомогою фланців в трубопроводі, котра містить тіло обтікання, за яким попарно встановленні п'єзоелектричні датчики тиску. Пульсації тиску, що виникають у потоці в результаті утворення вихорів,

реєструються датчиками , а частота пульсації пропорційна швидкості потоку. Парне розміщення датчиків дозволяє підсилити корисний сигнал і мінімізувати вібраційні та акустичні завади. Сигнали п'єзоелектричних перетворювачів поступають на плату цифрової обробки, де відбувається обчислення об'ємної витрати і об'єму рідини (газу), що пройшов трубопроводом

за певний період часу при заданих умовах, і у вигляді цифрового коду передається на компютер верхнього рівня вимірювальної системи чи системи керування [3].

Переваги вихрових ВПВ:

- відсутність будь-яких рухомих деталей всередині трубопроводу;
- простота і надійність перетворювача витрати;
- незалежність показань від тиску і температури;
- великий діапазон виміру;
- досить низька нелінійність в широкому діапазоні вимірювань;
- точність (похибка $\pm$(0,5-1,5)%);
- частотний вимірювальний сигнал;
- стабільність показань;
- порівняльна нескладність вимірювальної схеми;
- можливість одержання універсального градуювання.

Недоліки:

- значна втрата тиску, що досягає 30 – 50 кПа;
- вони непридатні на малих швидкостях через труднощі виміру сигналу, що має малу частоту;
- виготовляються лише для труб, що мають діаметри від 25 до 300 мм;
- застосування їх для великих труб важко, а при дуже малих діаметрах немає стійкого вихроутворення;
- багато конструкцій вихрових витратомірів не придатні для виміру як забруднених так і агресивних речовин, що можуть порушити роботу перетворювачів вихідного сигналу.

Але на процес вихроутворення забруднення, корозія й ерозія тіла обтікання або приладу, що закручує, практично позначаються дуже мало. Тому при виборі перетворювача вихідного сигналу (наприклад ультразвукового) вихрові витратоміри можуть служити і для виміру забруднених, агресивних і абразивних речовин.

Роторні витратоміри

Серед камерних лічильників найбільш широке застосування у газовій промисловості знайшли роторні лічильники (рис. 2.6). Роторні лічильники призначені для вимірювання об’єму газу при витратах 0,1 – 1000 м^3/год. Вони відрізняються від лічильників газу інших типів меншими габаритними розмірами при тих самих межах вимірювань і нечутливістю до перенавантажень.

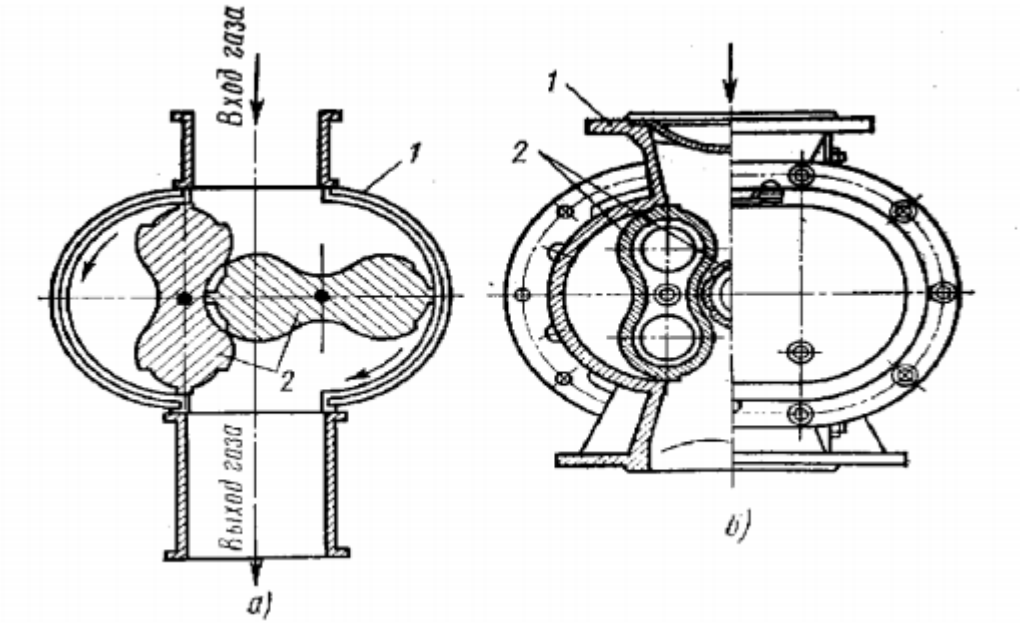

Рисунок 2.6 - Роторний витратомір.

Принцип дії роторних лічильників полягає на витиснені під дією різниці тисків між входом і виходом лічильника двома роторами вісімкоподібної форми по черзі порцій газу, що відсікаються роторами і стінками лічильника. Ротори обертаються у взаємно протилежних напрямках . За повний цикл вимірювання на вхід 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. Існують роторні лічильники з корекцією показів тиску і температури газу. Шкалу лічильника в такому випадку в одиницях об’єму газу, приведеного до стандартних умов.

Переваги роторних лічильників:

- висока надійність та точність вимірювань при динамічних витратах газу;
- мала інерційність механічної системи;
- широкий діапазон вимірювань;
- низька втрата тиску на лічильнику;
- незалежність вимірювальної точності від тиску газу в мережі;
- робота на горизонтальних та вертикальних ділянках газопроводу.

Недоліки:

- підвищені оберти лопатних поршнів, внаслідок чого маємо інтенсивне зношування робочих механізмів;
- виникнення пульсацій витрати та тиску;

Барабанні витратоміри

Барабанні газолічильники застосовуються в більшості випадків тільки для лабораторних робіт, що вимагають великої точності виміру, наприклад у калориметрії. Зазвичай мають номінальну витрату до 3 м^3/год. Даний лічильник складається з таких частин: корпуса-кожуха, барабана з вимірювальними камерами і лічильним механізмом.

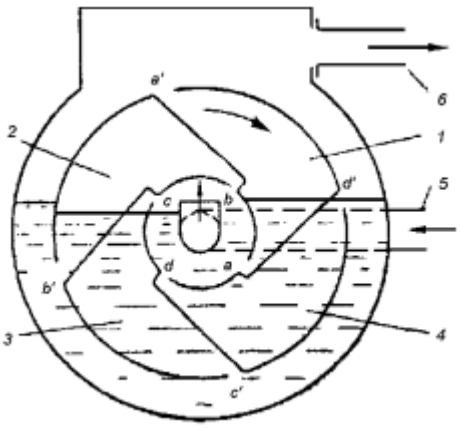

Рисунок 2.7 - Принципова схема роботи барабанного витратоміра.

Необхідню умовою правильної дії приладу є визначене положення рівня рідин в корпусі.

З переваг лічильник має високу точність і простоту механізму. До недоліків можна віднести малі діапазони витрат, та специфічність їх застосування.

Мембранні витратоміри

Мембранні (камерні, діафрагмові) лічильники працюють на основі переміщення рухливих мембран камер при надходженні при надходженні газу.

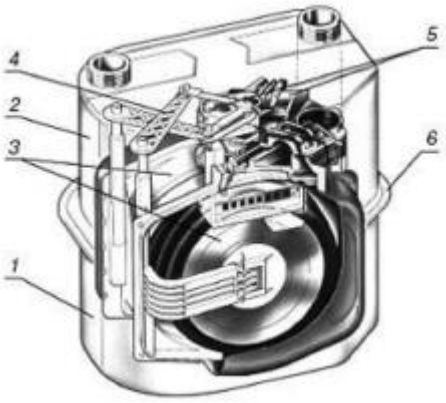

Рисунок 2.6 - Схема мембранного лічильника газу: 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – рахунковий механізм; 4 – кривошипно-ричажний механізм; 5 – верхні клапани газорозподільчого пристрою; 6 – стяжна полоса

Основна сфера застосування – комунальне і побутове господарство.

Переваги:

- прості в експлуатації;
- великий діапазон вимірювань (до 1:300);
- мала похибка (1,5%);
- висока чутливість.

Недоліки:

- велика кількість рухомих елементів;
- призначені використанні при низькому тиску (до 5 кПа надлишкового);
- високий рівень шуму;
- великі габарити.

Турбінні витратоміри

Турбінні витатоміри, що широко використовуються в технології виробництва, дають можливість надійного, безперервного і точного виміру кількості газу, що протікає в закритому трубопроводі, який знаходиться під тиском. Турбінні лічильники відносяться до класу тахометричних, загальною ознакою яких є обертання чутливого елементу під дією рушійного моменту, який створюється потоком [9].

Турбінний витратомір є приладом, що приймає швидкість газу, яка протікає через трубопровід. На шляху газу (який протікає) розташоване ходове колесо, число обертів якого пропорційне швидкості потоку. Швидкість обертання лопостей колеса сприймається індуктивним датчиком. При протіканні по обмотці електричного струму виникає електромагнітне поле, яке посилюється металевим осердям. Коли лопості турбінного колеса пронизують електромагніте поле індуктивного датчика, електромагнітне поле посилюється, з'являється електромагнітний імпульс, який по лініях електричного зв'язку передається на вторинний прилад[9].

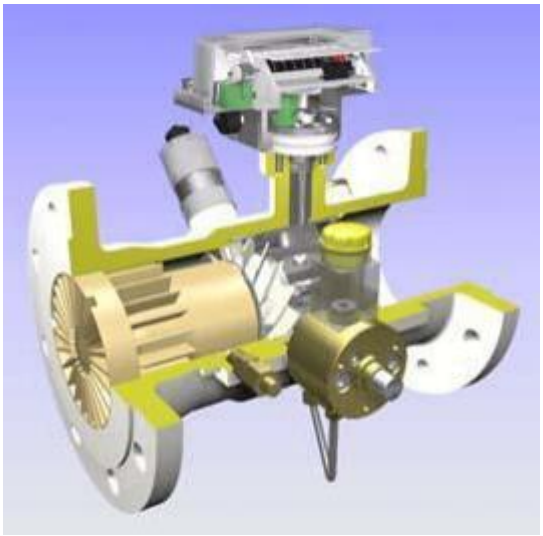

Рисунок 2.7 - Турбінний витратомір

Ідеальний турбінний лічильник не має сил опору, характеризується нескінченно тонкими лопатками турбіни, сумарна рушійна сила сконцентрована в середній точці радіуса, а також має рівномірний розподіл швидкості на лопаті в осьовому напрямку[9].

Турбінні витратоміри відносять до найбільш точних приладів вимірювання витрат речовини, похибка яких складає 0,5-1%[9].

Переваги:

- висока точність;
- мала інерційність;
- малі гідравлічні витрати вимірювального потоку;
- простота і технологічність конструкції;
- малі габарити та металоємність;
- можливість монтажу в різних положеннях і за різних напрямів потоку;
- можливість вимірювати витрати рідин та газів, що містять механічі домішки;
- безпосереднє отримання частотно-модульованого сигналу;
- незалежність показань від зміни електропровідності вимірювального средовища;
- відсутність пульсацій витрати та тиску;
- зручне поєднання із вторинною апаратурою;
- можливість досягнення більш високого класу точності за умови оптимального проектування;

Недоліки:

- зношування опор;
- опір потоку;
- необхідність індивідуальної градуюровки за допомогою градуйованих витратомірних уствновок;
- залежність від ділянок до ЛГ;

Ультразвукові витратоміри.

В даний час одним з найбільш прогресивних приладів вимірювання витрати та кількості газів є витратоміри і лічильники з ультразвуковими первинними перетворювачами .

Метод вимірювання ультразвуковими витратомірами грунтується на відношені швидкостей поширення акустичних коливань в нерухомому середовищі і швидкості руху самого середовища. Різноманіття параметрів, які залежать від швидкості вимірюваного середовища і зумовило велику кількість способів вимірювання затримки проходження сигналу від випромінювача до приймача і назад. З подальшим розвитком витратомірів даного типу перевага надається тим приладам, метрологічні характеристики яких не залежать від умов експлуатації – температури, тиску, концентрації домішок і т.п. Принцип роботи ультразвукового лічильника зображено на рис. 2.8.

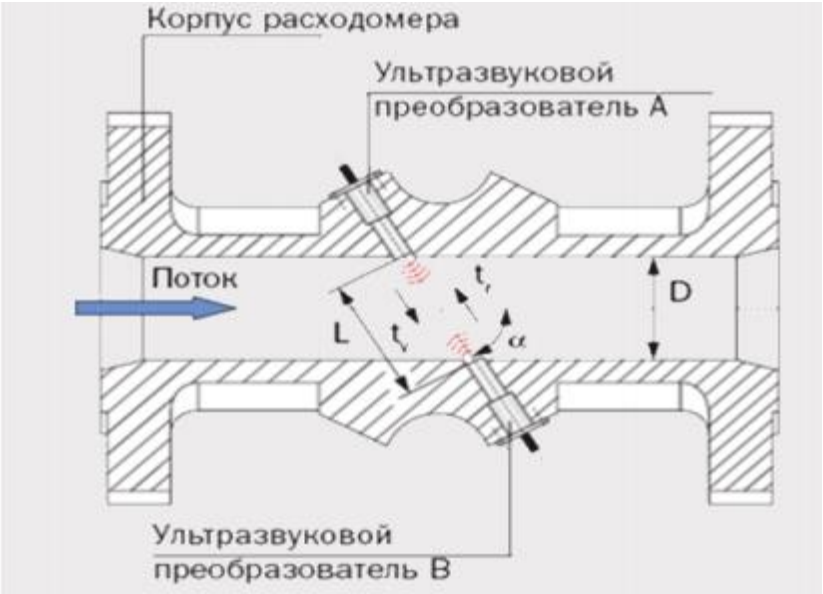

Рисунок 2.8 - Ультразвуковий перетворювач

До переваг можна віднести:

- висока точність;
- функціональне програмне забезпечення;
- широкий модельний ряд;

Недоліки:

- висока ціна;
- не пристосованість до деяких типів обчислювачів;

Коріолісові витратоміри

Витратоміри, у яких вимірювання витрати здійснюється на основі прояву сили Каріоліса . Свою назву цей витратомір отримав на честь Гаспара Коріоліса, французького фізика.

Рисунок 2.9 - Каріолісовий витратомір

Типовий вимірювач складається з однієї або двох вібруючих трубок, виготовлених зазвичай з нержавіючої сталі. Для отримання точних результатів вимірювань важливо захищати трубки і місця їх кріплень від механічного та хімічного впливу потоку рідини. Найчастіше трубки мають U-подібну форму, хоча можуть бути і іншої форми. Для газів застосовують трубки менших діаметрів, ніж для рідин. Трубкам надається вібрація від зовнішнього електромеханічного пристрою збудження коливань[11].

При відсутності потоку в трубці її вібрація на вході і виході збігаються, тобто між ними нема ніякого зсуву фаз. При появі потоку – трубка вигинається пропорційно величині масової витрати, тому між вібраціями вхідної і вихідної гілок з’являється зсув фаз, величина якого буде визначатися витратою потоку у трубці.

Переваги:

- незалежність вимірювань від густини, вязкості, тиску та температури;
- висока точність;

- не потрібні прямі ділянки трубопроводу до і після витратоміра;
- тривалий термін служби і простота обслуговування завдяки відсутності рухомих і зношувальних деталей;

Недоліки:

- порівняно висока вартість;
- не пристосованість до високих витрат;

Тепловий витратомір

Тепловий витратомір – витратомір, у якому для вимірювання швидкості потоку рідини або газу використовується ефект переносу тепла від нагрітого тіла рухомим середовищем[14]. Розрізняють калориметричні і термоанемометричні витратоміри.

Калориметричні витратоміри грунтуються на нагріванні чи охолодженні потоку стороннім джерелом енергії, що створює в потоці різницю температур за якою визначають витрату.

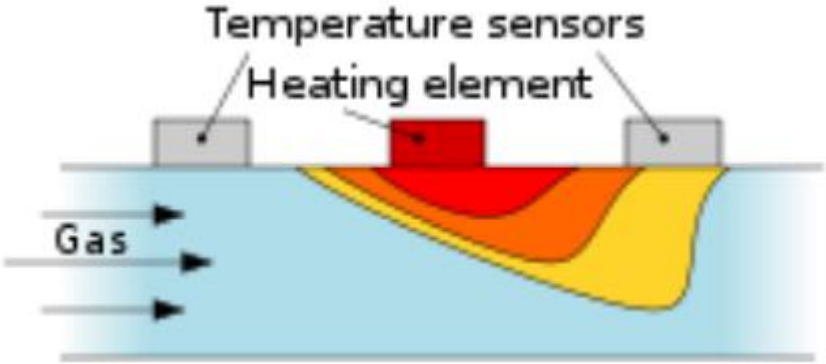

Рисунок 2.10 - Принцип роботи теплового калориметричного витратоміра.

Масова витрата набуде вигляду[14]:

$$Q_M = \frac{0,24IR}{k_0 c_p \Delta T}. \qquad (2.3)$$

Принцип роботи термометричного анемометра пов'язаний з використанням конвективного винесення тепла рухомим середовищем від

нагрітої поверхні. Чутливим елементом такого анемометра є нагрітий дріт або поверхня, зазвичай з пластини або вольфраму. Підігрів елемента зазвичай здійснюється постійним струмом, що проходить через неї з підтриманням постійної температури елемента. Іноді можна зустріти конструкції з непрямим підігрівом вимірювального дроту. Для визначення швидкості потоку в приладі вимірюється конвективне винесення тепла від дроту, яке є функцією від швидкості руху середовища, що омиває елемент[14].

Швидкість потоку розраховується за формулою [14]:

$$V = \left(\left[\frac{I^2 R_c [1 + \alpha (T_1 - T_1^c)]}{A_W \Delta T} - a \right] / b \right)^{\frac{1}{c}} \tag{2.4}$$

До переваг можна віднести:

- висока чустливість;
- хороша швидкодія;
- простота конструкції;

До недоліків:

- можливість роботи лише в чистих потоках з незмінними телофізичними характеристиками;
- необхідність очищення елемента від забруднень;

2.2 АНАЛІЗ РОТОРННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

Роторні лічильники відносяться до камерних перетворювачів витрати. Камерними називаються тахометричні витратоміри і лічильники, рухливі елементи яких приходять в рух (безперервне або періодичне) під тиском вимірюваної рідини або газу і при цьому відмірюють певні обсяги або маси вимірюваного речовини.

Деякі різновиди камерних приладів вже давно як водо- і газолічильників. При цьому їх рухливі елементи зазвичай через зубчастий редуктор з'єднані з рахунковим механізмом. Незважаючи на тертя в останніх більшість камерних лічильників мають високий клас точності. Так, похибка лічильників газу дорівнює ± (1-1,5)%, а лічильників рідини ± (0,2-1)%. Діапазон з вимірювання так само досить великий і знаходиться в межах від 5: 1 до 20: 1 і навіть більше. В'язкість вимірюваного речовини менше впливає на показання камерних приладів в порівнянні з турбінними. Конструктивно камерні прилади більш складніше турбінних та кулькових і тому малопридатні при великих витратах вимірюваного речовини. Їх рідко застосовують в трубах, діаметр яких більше 200-300 мм. Крім того, вони дуже чутливі до механічних домішок і вимагають гарної фільтрації рідини і газу. Як витратомірів камерні прилади застосовуються поки що рідко. Але таке застосування в майбутньому досить перспективно, особливо при відмові від механічної зв'язку між рухомими елементами і відліковим пристроєм. Це дозволить ще більше підвищити точність вимірювання витрати та кількості. У найпростішому ж випадку можна обмежитися лише додаванням тахометричного перетворювача до існуючих конструкцій приладів. Камерні перетворювачі з рухомими розділовими елементами мають найбільше число різновидів і застосовуються частіше за інших. Вони складаються з жорсткою камери, в якій при безперервному переміщення одного або декількох розділових елементів здійснюється відмірювання рідини або газу.

Камерні газолічильники роторного типу з роторами восьмеричної форми виготовляються серійно. Для синхронізації обертання роторів на кінцях їх осей з обох сторін є сполучні шестерні. Під дією різниці тисків газу на вході і виході ротори приходять в обертання.

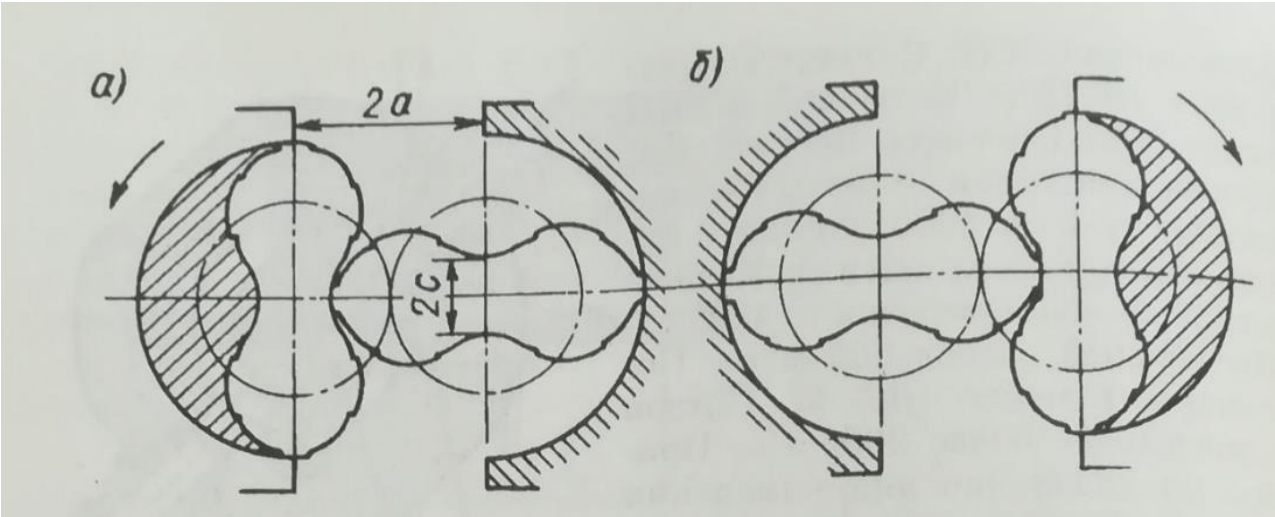

Рис. 3.1 - Схема роторного перетворювача[2].

У положенні показаному на рис. 3.1.а, лівий ротор замкнув у вимірювальній камері заштриховану порцію газу, яку потім буде переміщати в вихідний патрубок. У цьому положенні рушійний момент $M_д$ прикладений тільки до лівого ротора. Але при подальшому обертанні роторів з'явиться і буде зростати (в межах кута повороту 90 градусів) рушійний момент на правому роторі, а на лівому він буде зменшуватися, поки не стане рівним нулю після кута повороту 90 градусів в положенні, показаному на рис.3.1.б. При цьому правий ротор замкне другу заштриховану порцію газу. Всього за один оборот роторів лічильник переміщує чотири таких заштрихованих обсягу. Жирними лініями показані ділянки поверхні роторів, оброблювані з високою точністю, тому що по ним ковзає точка сполучення роторів при їх обкатуванні одне за одним. На кінцях великого діаметра ротора є невеликі майданчики з гострою кромкою, що сприяють самоочищення поверхонь лічильника. Зі зменшенням відносин c / a об’єм вимірювальної камери зростає. Зазвичай $c / a = 3/4$. Подальше зменшення

відносин з: а небажано з міркувань міцності. Відношення довжини до ротора до його діаметра вибирають в межах 1,3 – 1,9. При цьому забезпечуються найменші протікання через зазори, які залежать не тільки від їх периметра, але і від перепаду тиску на роторах. Товщина радіальної і торцевих зазорів між роторами і корпусом від 0,04 до 0,1 мм. Перепад ж тиску в газолічильнику повинен бути не більше 300 Па. Для досягнення такої малої втрати тиску застосовуються шарикопідшипники і вибираються допустимі частоти обертання роторів, а в газолічильниках малих калібрів (РГ-40 і РГ-100) крім того передача до редуктора і рахунковому механізму здійснюється за допомогою магнітної муфти, а не віссю, що проходить через ущільнення . Зі збільшенням калібру газо лічильника протікання через зазори зменшуються з 2% у РГ-100 до 0,5% у РГ-600. Кількість газу V, що пройшла через лічильник, визначається рівнянням $V = knV_в$, де n-число обертів роторів, $V_в$- конструктивний вимірювальний об'єм лічильника дорівнює чотирьом заштрихованим на малюнку об’ємам, k- коефіцієнт, що враховує протікання через зазори, k = 1,02 для РГ -100 і до = 1,005 для РГ-600.

З ростом калібру різко зростають габаритні розміри, маса і металоємність ротаційних газо лічильників. У зв'язку з цим на витрати понад 1000м^3/год виявилося доцільніше виготовляти турбінні газолічильники.

Розроблено роторний витратомір газу на базі газолічильника РГ. Один з роторів за допомогою додаткового валика пов'язаний з диском-обтюратором, забезпеченим прорізами. З одного боку диска розташований освітлювач, а з іншого - фотоелемент (фототранзистор ФТ-3), що входить в перетворювач частота-струм. Число прорізів в диску, різне для різних типорозмірів РГ, таке, що частота імпульсів знаходиться в межах 0-700 Гц при зміні витрати від 0 до 120% від номінального. Вихідний сигнал 0-5 мА, приведена похибка перетворювача витрата-струм не більше 1,5%.

Роторні лічильники газу на відміну від інших витратомірів володіють важливою перевагою, а саме: порівняно висока пропускна здатність і досить

широкий діапазон вимірювань (1: 100, 1: 160, 1: 200) при порівняно компактних габаритних розмірах.

Крім того, роторні лічильники газу володіють і іншими перевагами:

1.вони не мають потреби в електроенергії, надійні і довговічні;

2.в процесі експлуатації можливий контроль несправностей по перепаду тиску;

3.стійкість до впливу короткочасних перевантажень;

4.точність вимірювання навіть в разі ритмічних коливань газу;

5.Стабільна робота лічильника в широкому діапазоні тиску газу (робочий тиск до 7,5 МПа).

Недолік газолічильників з роторами восьмеричної форми - нерівномірність переміщення газу в межах одного обороту і, як наслідок, виникнення пульсацій тиску і витрати. Пульсації витрати теоретично лежать в межах від - 13 до + 11%. Це одна з причин порівняно великий похибки подібних газолічильників і непридатності їх застосування в якості зразкових приладів. В цьому відношенні значно краще газолічильники з трапецеподібними роторами, що обкатуються навколо нерухомих циліндрів неповного круглого перетину. У них відсутні пульсації витрати і тиску і похибка менше.

Різниця вхідного і вихідного тиску приводить в дію механізм обертання роторів. Під час обертання роторів здійснюється їх обкатування своїми бічними сторонами. Ротори крутяться синхронно завдяки двом парам однакових зубчастих коліщаток.

Шестерні роторів періодично змащуються маслом, яке залито в торцеві коробки, що дозволяє зменшити тертя і знос деталей. Один ротор за півоберта витісняє такий об’єм газу, який дорівнює об’єму, який залишиться між внутрішньою поверхнею корпусу і бічною поверхнею ротора. Таким чином, при повному обороті двох роторів витісняється 4 вищеописаних об’єми.

При виготовленні роторних лічильників особлива увага звертається на легкість ходу роторів і зменшення невраховуваних витоків газу через лічильник. Легкість ходу, що є якісним показником малого тертя в механізмі, а отже, і малою втрати тиску в лічильнику, забезпечується установкою валів роторів на кулькові підшипники, зведенням до мінімуму тертя в редукторі і рахунковому механізмі, а також раціональним вибором конструктивних розмірів і частоти обертання роторів.

Зменшення витоків газу досягається ретельною обробкою і взаємної підгонкою внутрішньої поверхні корпусу і роторів, що труться. При виготовленні лічильників особлива увага приділяється статичному балансуванню і обробці роторів.

Промисловістю випускаються ротаційні лічильники РГ-40-1, РГ-100-1, РГ-250-1, РГ-400-1, РГ-600-1 і РГ-1000-1 на номінальні витрати газу відповідно 40, 100, ..., 1000 м^3/ч і робочий тиск не більше 1 кгс/см^2. При необхідності іноді застосовують паралельну установку двох лічильників. Ротаційні лічильники хоча і громіздкі, але зручні в експлуатації.

Ротаційним лічильником не можна довго вимірювати витрату газу, що перевищує номінальний; допустима лише короткочасне перевантаження не більше ніж на 50%, при якій похибка вимірювань збільшується. Для вимірювання великих витрат газу під тиском понад 1 кгс / см^2 застосовують дросельні пристрої.

Відліковий пристрій показує кількість газу (м3), яка пройшла через лічильник за робочого тиску Р і температури Т . Перерахунок в об'ємні одиниці, $V_н$, до умов за ГОСТ 2939 проводять за формулою:

$$V_н = \frac{V_р T_н}{P_н T K},$$

(3.1)

де $V_р$ – різниця показань лічильника за період вимірювання, м^3; Р – абсолютний тиск газу, МПа; Т – абсолютна температура газу, К; К – коефіцієнт

стиснення газу; $P_н$= 0,101325 МПа і $T_н$= 293,15 К – відповідно стандартні тиск і температура за ГОСТ 2939[6]

Методика розрахунку. Крива, яка визначає профіль восьмиобразного ротора, з математичної класифікації відноситься до комбінованих кривим четвертого порядку. Не зупиняючись з причини вибору саме цього профілю в якості основного принципу вимірювального процесу, відзначимо лише, що в технічному аспекті крива має певну симетрію і дозволяє визначити числові значення її параметрів, що сприяють встановленню кінематичних і силових залежностей. З цією метою спочатку варто усвідомити кілька важливих предсилок, що обумовлюють взаємне обкатування без ковзання сполучених восьмиобразних роторів.

2.2.1 Розрахунок елементів конструкції

1. Сполучення роторів рис.3.2 здійснюють за допомогою пари круглих шестерень зв'язку, радіус ділильного кола яких:

$$p_0 = 0{,}5C \qquad (3.2)$$

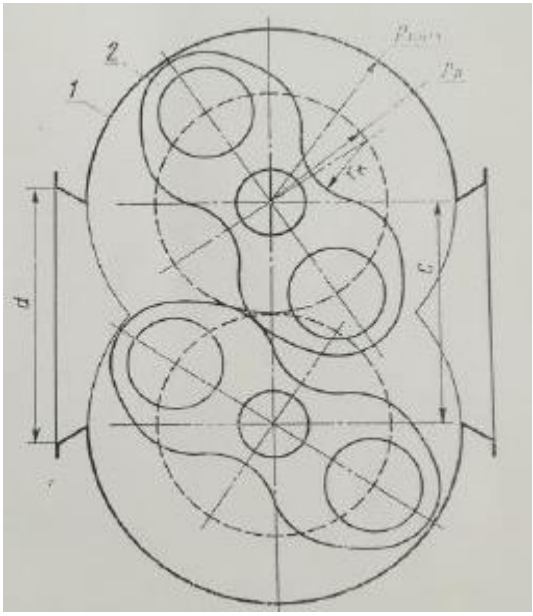

Рис. 3.2 – Схема побудови перетворювача з восьмиобразними роторами

Міжцентрову відстань С шестерень зв'язку, а отже і роторів, визначаються як функція діаметра d умовного проходу патрубків камери, виходячи з основного обмежувального умови, обумовлює специфіку кривої профілю роторів, з якої випливає співвідношення для розрахунку розмірів вхідного і вихідного квадратних вікон камери.

$$C = b$$

$$Cb = \frac{\pi d^2}{2} \qquad (3.3)$$

$$C = b = 0{,}88623d = 13{,}29мм, \qquad (3.4)$$

Де b – висота роторів.

2. Профіль восьмиобразного ротора будують по рис. 3.3 шляхом сполучення відрізків дуг окружності радіуса $r_к$, огранічееваемих прямих секторальних кутом, з відрізками дуг евольвенти кола радіусом R_0, узятим в кутовому в кутовому інтервалі разветкі $12^\circ 18' \leq \theta \leq 102^\circ 18'$ (дуга евольвенти кола на рис. 3.3 прив'язані до полярної осі, поверненою на кут $\beta=32^\circ 42'$ відносно точки повернення евольвенти). Як випливає з побудови, радіус початкової окружності евольвенти ($c'P=d'P=e'P=f'P=R_0$).

$$R_0 = p_0 \cos 45^\circ = 0{,}31333d = 4{,}69мм, \qquad (3.5)$$

а радіус кола ($O_1a=O_1c=O_2g=O_2f=r_к$), відрізками дуг, якой окреслюється профіль ротора по головним осям симетрії,

$$r_к = ff' - O_2 f = R_0\theta - R_0 = 0{,}24611d = 3{,}69мм, \qquad (3.6)$$

де $ff' = R_0\theta$ – радіус кривизни евольвенти в точці f, а кут $\theta = 102^\circ 18'$ (див. на рис. 3.3 cPf').

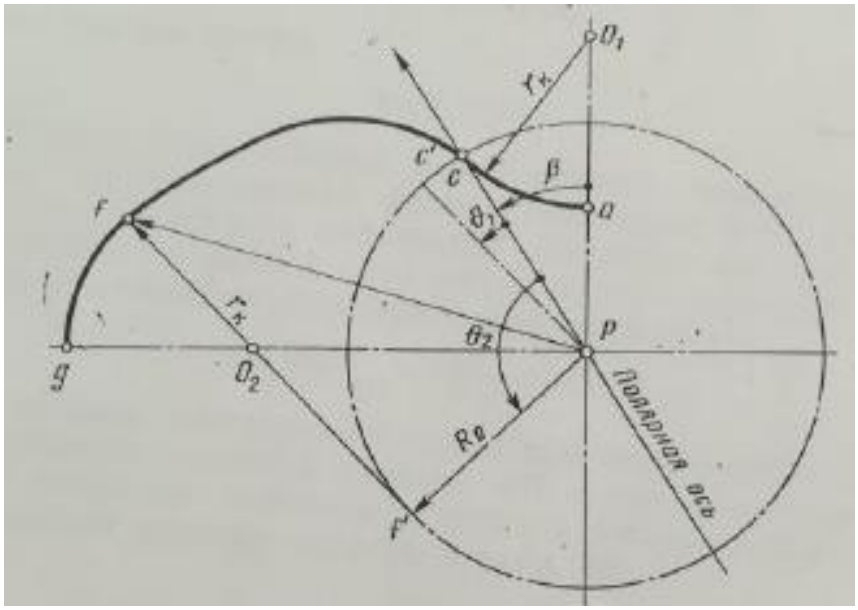

Рисунок 3.3 – Схема побудови профіля восьмиобразного ротора.

Таким чином, в силу рівнянь (3.3) – (3.6) можна написати критичні занчення радіус – вектора кривой восьмиобразного ротора у вигляді

$$p_{\max} = p_0 + r_к = p_0(1+e) = 0{,}68922d = 10{,}33мм, \quad (3.7)$$

$$p_{\min} = p_0 - r = p_0(1-e) = 0{,}197d = 2{,}95мм, \quad (3.8)$$

де e = 0,55539 – модуль сполучених дуг, що складають профіль восьмиобразного ротора.

3. Чверть площі поперечного перерізу восьмиобразного ротора складається з трьох секторів, в яких поточне значення радіуса - вектора відповідних ділянок профілю в полярних координатах обчислюють за наведеними нижче формулами:

в секторі I (aPca)

$$p_I = p_0\left(\cos\alpha_1 - \sqrt{\cos^2\alpha_1 - a}\right), \quad (3.9)$$

де $0 \le \alpha_I \le 32^\circ 42'$, $a = 1 - e^2 = 0,69153$;

в секторі II (cPfedc)

$$p_{II} = R_0\sqrt{1+\theta^2}, \quad (3.10)$$

де $12^\circ 18' \le \left[\theta = a_{II} + \arccos\frac{R_0}{p_{II}}\right] \le 102^\circ 18'$;

в секторі III (fPgf)

$$p_{III} = p_0 + \sqrt{\cos^2 \alpha - a}\,, \qquad (3.11)$$

де $0 \leq \alpha_{III} \leq 16^{\circ}21'$.

4. Відповідно до виразами (3.9) - (3.11) площі розглянутих секторальних ділянок, з яких складається площа поперечного перерізу восьмиобразного ротора, визначають в результаті рішення наступних криволінійних інтервалів:

$$S_I = \frac{1}{2}\int_0^{\alpha_1} p_I^2 d\alpha = 0{,}01431 d^2 \qquad (3.12)$$

$$S_{II} = \frac{1}{2}\int_{\theta_1-\beta}^{\theta_2-\beta} p_{II}^2 d\theta = 0{,}10718 d^2 \qquad (3.13)$$

$$S_{III} = \frac{1}{2}\int_0^{a_{III}} p_{III}^2 d\alpha = 0{,}0643 d^2 \qquad (3.14)$$

Отже, площа поперечного перерізу восьмиобразного ротора згідно виразів (3.12) – (3.14):

$$S_p = 4(S_I + S_{II} + S_{III}) = 0{,}74316 d^2 \qquad (3.15)$$

При цьому робочий об’єм камери, складений за цикл взаємного обкатування восьмиобразних роторів,

$$V_0 = 2b(\pi p_{\max}^2 - S_p) = 1{,}32780 d^3 \qquad (3.16)$$

$$V_0 = 4{,}48132 \cdot 10^{-6} \left(м^3\right);$$

2.2.2 Розрахунок параметрів трубопроводу

Матеріал лічильника – алюмінієві сплави.

Допустима напруга - σ = 70 Мпа

Допуск до товщини труби c_{11}= 0,3 мм.

Тиск в трубі P = 6,3 МПа.

Зовнішній діаметр труби $D_{зовн}$ = 21 мм.

Внутрішній діаметр труби DN = 15 мм.

Розрахунок товщини стінок:

$$x_s = (D_{зовн} - DN)/2 \qquad (2.2.2.1)$$

$$x_s = (21-15)/2 = 3мм$$

Розрахункова товщина стінок:

$$S_R = \frac{P \cdot D_{зовн}}{2 \cdot \sigma + P} + c_{11} \qquad (2.2.2.2)$$

$$S_R = \frac{6{,}3 \cdot 21}{2 \cdot 70 + 6{,}3} + 0{,}3 = 1{,}2мм$$

Коефіцієнт запасу міцності:

$$k = \frac{x_S}{S_R} \qquad (2.2.2.3)$$

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

Так як k > 1 можна сказати що лічильник має достатній запас міцності для вирішення задачі.

2.2.3 Розрахунок метрологічних характеристик.

Об’ємна кількість газу що пройшла через лічильник визначається за формулою:

$$V = mV_0 + qt, \qquad (2.2.3.1)$$

де V_0 – обєм газу, який витісняється розділювальним елементом (в нашому випадку роторами) за один оберт, практично дорівнює об’єму вимірювальних камер; m – кількість обертів розподільчого елементу за час t; q= – об’єм, що протікає через внутрішні зазори приладу за одиницю часу.

Об’ємна витрата Q може бути визначена із виразу:

$$Q = nV_0 + q, \qquad (2.2.3.2)$$

де n – кількість обертів розподільчого елемента за одиницю часу.

Очевидно, між n і m буде таке співвідношення n=m/t.

Знаючи коефіцієнт k – коефіцієнт що враховує протікання через зазори, k=1,03, можем порахувати об’ємну витрату за формулою:

$$Q = knV_0 \qquad (2.2.3.3)$$

Для Q_{max} = 2,6 м^3/год, можемо визначити n_{max} :

$$n = Q / kV_0$$

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Вступ

Досконалість приладів характеризується їх надійністю роботи, зручністю, відповідністю своєму функціональному призначенню, а також тим, якою мірою використані та враховані можливості найбільш прогресивних методів і засобів контролю і виготовлення.

Критерієм технологічності є її економічна доцільність при заданій якості експлуатації, прийнятних умовах виробництва і ремонту.

Необхідно розглядати також чинники, що визначають технологічність конструкції. Конструкція буде технологічною, якщо у неї найкоротший цикл виробництва, вона володіє найменшою трудомісткістю виготовлення і найбільшою уніфікацією і нормалізацією деталей і складальних одиниць, можливістю автоматизації складання при найменшій кількості використаних матеріалів і устаткування. Для досягнення високих технічних характеристик приладу необхідно також використовувати резерви виробництва.

3.1.Аналіз складальної одиниці

Особливі вимоги, запропоновані до виготовлення і складання ультразвукового анемометра зазначені в кресленнях і його складальних одиницях, а також кресленнях деталей; у цих вимогах відбита точність складання деталей та їх виготовлення.

3.2.Оцінка рівня технологічності

Технологічністю конструкції називається така властивість окремих деталей, складальних одиниць і приладів у цілому, при якому для даних умов, даного масштабу випуску і даних технічних вимог до приладу забезпечується найбільше швидке і економічне освоєння його виробництва, а також найбільше раціональне його виготовлення.

Конструкція технологічна, якщо вона має найбільшу уніфікацію і нормалізацію складальних одиниць і деталей, широкі можливості застосування

найбільш простих і раціональних операцій, найменшу трудомісткість, а також можливість автоматизації устаткування.

Для усіх виробів при відпрацюванні конструкції на технологічність ставляться такі задачі:

- зниження трудомісткості виготовлення;
- застосування стандартних складових частин;
- використання уніфікованих складових частин;
- використання уніфікованих деталей;
- застосування типових технологічних процесів.

Для складальних одиниць задачами відпрацювання на технологічність є забезпечити технологічне компонування складальної одиниці, забезпечення технологічності принциповою і конструктивною схемами, забезпечення раціональних і правильних настановних баз, забезпечення раціонального членування на складові частини, забезпечення умов для застосування високопродуктивних технологічних процесів, забезпечення умов регулювання, іспитів й контролю, скорочення номенклатури застосованих матеріалів.

3.3.Визначення основних показників технологічності

Абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення Ти можна виразити сумою нормо-годин, що затрачені на виготовлення виробу:

$$Ти = \square Ti, \qquad (3.1)$$

де Ті - трудомісткість виготовлення і іспитів складової частини виробу, яка в свою чергу вимірюється в нормо-часах.

У складальну одиницю “Ультразвуковий анемометр“ входять 30 деталей. На їхнє виготовлення витрачено в сумі 10 нормо-годин. (Ти=30 нормо-годин).

Рівень технологічності конструкції по трудомісткості виготовлення Ку.т. визначається як відношення досягнутої трудомісткості виготовлення виробу Ти до базового показника трудомісткості виготовлення Тб.і. (Тб.і.=40 нормо-годин):

Ку.т=Ти/Тб.і, (3.2)

К у.т=30/40=0,75.

СТ - технологічна собівартість виробу визначається, як сума витрат на одиницю виробу:

СТ =См+Сз+Сц.р, (3.3)

де См - вартість матеріалів, витрачених на одиницю виробу (грн.);

Сз - заробітна плата виробничих робітників з нарахуванням (грн.);

Сц.р. - цехові витрати (електроенергія, ремонт і амортизація устаткування і т.п.).

По кошторисах: См=150 грн.; Сз=1500 грн.; Сц.р.=70 грн., тоді технологічна собівартість складе:

Ст=150+1500+70=1720 грн.

Рівень технологічності конструкції по технологічній собівартості визначається як відношення досягнутої собівартості СТ до технологічної собівартості базового виробу Сб. Т (Сб. Т =1800 грн.).

К у.с=СТ/С б.Т, (3.4)

Ку.с=1720/1800=0.95.

2.4.Визначення додаткових показників технологічності

2.4.1.Визначення технічних показників уніфікації конструкції

Коефіцієнт уніфікації виробу Ку визначається по формулі:

Ку=(Еу+Ду)/(Е+Д), (3.5)

де Еу і Е - відповідно кількість уніфікованих складальних одиниць, і загальне число складальних одиниць у виробі;

Ду і Д - відповідно кількість уніфікованих деталей і загальне число деталей у виробі (без урахування кріплення).

У спроектованому рахунковому механізмі є уніфіковані складальні одиниці Еу=0, Е=3, Ду=5, Д=25.

$$Ку=(0+5)/(3+25)=0,18.$$

Коефіцієнт уніфікації деталей виробу Куд.і є відношення кількості уніфікованих деталей до загального числа деталей у виробі:

$$Ку\ д.і=Ду/Д, \qquad (3.6)$$

$$Ку\ д.і=5/25=0,2.$$

Коефіцієнт стандартизації виробу Кст визначається формулою:

$$Кст=(Ест+Дст)/(Е+Д), \qquad (3.7)$$

де Ест і Дст - відповідно число деталей і стандартних складальних одиниць (Ест=0, Дст=6).

$$Кст= (0+6)/(3+25)=0,214.$$

Коефіцієнт стандартизації деталей Кстд є відношення числа стандартних деталей до загального числа деталей:

$$Кстд =Дст/Д, \qquad (3.8)$$

$$Кстд =6/25=0,24.$$

Коефіцієнт стандартизації складальних одиниць Кст.е визначається за формулою:

$$Кст.е = Ест/Е, \quad (3.9)$$

$$Кст.е = 0/3 = 0.$$

Кповт формула для визначення коефіцієнту повторення деталей :

$$Кповт = 1 - Q/(Е + Д), \quad (3.10)$$

число найменувань складових частин (Q=32).

Кповт=1-22/(3+25)=0,214.

3.5.Визначення комплексного показника технологічності виробу

Комплексний показник технологічності конструкції характеризує не окремі приватні ознаки технологічності, а визначену групу ознак технологічності конструкції.

Методика визначення комплексного показника враховує різноманітну економічну ефективність вхідних приватних показників шляхом введення коефіцієнтів економічної ефективності Ке приватних показників технологічності виробу. Цей коефіцієнт обмежимо границями 0<Ке□1. При цьому коефіцієнти економічної ефективності визначаються з умови □Ке□1.

Комплексний показник технологічності виражається залежністю:

К=(К1К1э+К2К2э+...+КіКіе)/(К1е+К2е+...+Кіе)=(□КіКіе)/□Кіе. (3.12)

Оскільки К=0,585 що>0,5, то виріб є технологічним і придатним для виробництва.

2.6.Схема складального складу

Упорядкування схеми складального складу є першим етапом на шляху створення технології складання, що показує структурну схему приладу,

найменування і число деталей, число складальних одиниць, служить комплектуючою картою при складанні. Проте схема складального складу не дає уявлення про послідовність складання і засобі забезпечення з'єднань. Під поєднанням приладу та процесу монтажу необхідно розуміти правила побудови пристрою з його компонентів та його функціонування та процес складання його деталей. Першим кроком у створенні техніки складання є спрощення конструкції збірки.

3.7.Технологічна схема складання

Технологічна схема складання викреслюється для повного уявлення про послідовність складання, засобах забезпечення з'єднань, про періодичність і утримання процесу регулювання, іспитів і контролю. Вона дається технологом-складальником, що призначає базову деталь, із яким починається процес загального складання. Відповідно до обраного порядку подачі деталей і складальних одиниць на складання призначаються операції технологічного процесу. Тим самим формується технологічний процес.

3.8.Опис конструкції і принцип роботи пристосувань

Пристосування, зображене на кресленні ДП. ЗПМ61-16 004.000 СБ, призначеного для дослідження параметрів кручених циліндричних пружин.

Конструкція приладу, на литій підставі 1 монтується трубчаста колона 2, що є несуща конструкція приладу. На колоні змонтована: робоча рамка 3 і вимірювальний пристрій. Усередині колони розташований ходовий гвинт 4, призначений для переміщення гайки – втулки 5 із кронштейном, на якому кріпиться один з кінців досліджуваної пружини. Другий кінець пружини кріпиться до кронштейна на рамці 3. Голівка рамки упирається у вимірювальну пружину 6. Деформація пружини фіксується індикатором годинникового типу.

При переміщенні гайки – втулки 5 пружини, установлені на опорах або на гачках, випробують зусилля стиску або розтягання, що передаються робочій рамці 3, при цьому вона надавлює на вимірювальну пружину і деформує її.

Пружина попередньо тарується. По відхиленню стрілки індикатора визначають зусилля, що діють на досліджувану пружину, деформацію якої визначають за допомогою масштабною шкалою з точністю до 0,1 мм.

Вищеописане пристрій дозволяє точно визначити потрібну пружину - найбільше трудомістку по складанню конструкцію.

Висновки

Оцінка рівня технологічності складальної одиниці “Прилад для контролю гвинтових пружин”, проведена в даному розділі, показала, що складальна одиниця є технологічною і придатна для запуску в масове виробництво.

У ході даного розділу був також розроблений технологічний процес складання складальної одиниці і розроблено технологічних прилад.

4.Література

1. В.Баадер, Е.Доне, М. Бренндерфер «Біогаз. Теорія і практика» - Москва «Колос» 1982 – с. 26

2. Кремлевский. Расходометры и счетчики количества.

3. Расходомеры и счетчики количества: Справочник – 4-е изд, перерб. и доп.- Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989 – 701с.

4. Сравнительный анализ методов и средств измерения расхода газа [електронний ресурс]-режим доступу: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Daev/Daev_2.pdf

5. Руководство по эксплуатации 2.784.000 РЭ [Електронний ресурс]: СЧЁТЧИК ГАЗА РОТАЦИОННЫЙ

РГ-К-Ех. – Режим доступу: http://www.ppx.ru/product/re_rgk.pdf. – Назва з екрану

6. Структура і види діяльності НДЦ «ПРІСЕ» [електронний ресурс] – режим доступу: http://prise.kpi.ua/

7. Дж. Фрайден. Современные датчики.

8. Стаття:[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/9A81628485529AC3C2257ACB002EDA94

9. Стаття:[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://kurs.ua/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=19&Itemid=23

10. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін, А.І. Ємець, Г.М. Забарний, Г.М. Калетнік, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко, Д.Б. Рахметов, С.П. Циганков – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 360 с.