

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

Освітньо-професійна програма Інформаційно-вимірвальні системи та технології в приладобудуванні

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Гунов Ілля Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Витратомір ультразвуковий**

науковий керівник дисертації **Литвиненко П.Л., доцент, к.т.н.**

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

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2020р. № 3228

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Перелік завдань, які потрібно розробити Вступ. Огляд літературних джерел за темою, вибір і обґрунтування напрямів та методів дослідження. Розробка математичної моделі. Визначення метролічних характеристик. Моделювання роботи ультразвукового витратоміра. Аналіз і узагальнення результатів досліджень.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Схеми 1 арк. ф. А1.

Ультразвуковий витратомір. Складальний кресленик, 1 арк. ф.А1. Робочі креслення деталей, 2 арк. ф.А1 Графічні матеріали, 3 арк. ф. А1. Презентація плакат 1 арк. ф.А1

5. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	Бояринова К.О., д.е.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 30 жовтня 2020р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури за темою	30.10.20-10.11.20	
2	Розробка математичної моделі приладу	08.11.20-16.11.20	
3	Визначення метрологічних характеристик приладу	14.11.20 – 20.11.20	
4	Моделювання роботи приладу	14.11.20 – 20.11.20	
5	Розробка програмного забезпечення	14.11.20 – 20.11.20	
6	Аналіз отриманих результатів	27.11.20 – 06.12.20	
7	Оформлення МД та її графічної частини	20.11.20 – 05.12.20	
8	Передача МД на перевірку науковому керівнику	06.12.20	
9	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів	09.12.20	
10	Представити МД на рецензію	14.12.20	
11	Представити МД на затвердження зав. кафедри	14.12.20	

12	Передача електронної версії МД до бібліотеки	14.12.20	
13	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	16.12.20	

Студент

(підпис)

Ілля ГУНОВ

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Павло ЛИТВИНЕНКО

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладобудування

«На правах рукопису»

УДК 621.317

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ **Юрій КИРИЧУК**

“ ____ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-вимірювальні системи
та технології в приладобудуванні»
зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

на тему: _____ **Витратомір ультразвуковий** _____

Виконав: студент 2 курсу, групи ПІ-91мп

_____ **Гунов Ілля Андрійович** _____

Науковий керівник доцент, доцент, к.т.н. Павло ЛИТВИНЕНКО _____

Консультант Розробка СТАРТАП-проекту д.е.н., доцент Катерина Бояринова _____

Рецензент _____ **к.т.н., доц. Сергій МУРАХОВСКИЙ** _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	1	
2	A4	МД.ПЗ	Пояснювальна записка	98	
3	A1	МД.ГД.01	Матеріали аналітичного огляду	1	
4	A1 (A2)	МД. ГД.02 (01...04)	Схеми	1	
5	A1 (A2)	МД.ГД.03. (01.04)	Складальні креслення	1	
6	A1	МД.ГД.04. (01.04)	Графіки	1	
7	A1	МД.ГД.05	Презентаційний аркуш	1	
Загальна кількість графічних документів - 6 арк.ф. А1					

				МД. ПІ-91мп.00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Гунов І.				Лист	Листів
Керівн.	Литвиненко П.				1	1
Конс.					КПІ імені Ігоря Сікорського каф. <u>ПБ</u> гр. ПІ – 91мп	
Н/контр.						
Зав.каф.						

Анотація

Дисертація складеться з вступу, трьох розділів, висновку, списку літератури. Дисертація містить 98 сторінок, 43 рисунків, 26 таблиць, список використаних джерел з 21 найменування.

В магістерській дисертації було проведено аналіз сучасних вимірювальних перетворювачів витрати. Вони всі відрізняються за принципом роботи і будовою. Тому кожен потрібно підбирати конкретно для умов в яких він буде працювати. Найпоширенішими сьогодні є турбінні, ультразвукові, мембранні, роторні та барабанні витратоміри. Розглянуто конструкцію, принцип роботи ультразвукового витратоміра. Складено структурну схему лічильника. Проведено розрахунок п'єзоелемента і було розраховано вплив теплового режиму роботи п'єзоелектричного датчика на його чутливість.

Визначали перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї. Визначали групу конкурентів, що вже існують на ринку та зібрали інформацію про техніко-економічні показники для власної системи. Дізнались сильні та слабкі сторони проекту.

Annotation

The thesis to Slagelse s stuple, three rosdev, visnovku, a list of lterature. The thesis mstit 98 storek, 43 risunkiv, 26 stolice, a list of vikoristannya jerel W 21 naimenovaniya. In masterski Desertec Bulo spent anals Suchasna vimiryuvannya peretvorjuvach bitrate. The stench VSI Varanasi for how robots and budovou. That kozhen potribno pid choose especially for minds in yakih vin bude pratsyuvati. Napolitanki sodn turb Turbin, ultrazvukom, membran, return baraban microtome.

Razganata design, how robots ultrasonic vitrectomy. The block diagram of the refrigerator is harmoniously designed. Held rozrahunkiv n of stalement and Bulo rozruchowego vpliv thermal regime of robots n scolecithricella sensor on yoga cutlist.

Was wyznaczeni Perak techno-economic authorities that characteristics de. We started a group of competitors, but we have already entered the market and selected an information about technical and economic indicators for vlasnoi systems. We knew the strengths and weaknesses of the project.

					МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		7

Зміст

ВСТУП.....	9
1 Огляд і аналіз витратомірів	11
1.1 Витратоміри механічної дії.....	11
1.1.1 Манометричні витратоміри.....	11
1.1.2 Витратоміри обтікання.....	13
1.1.3 Витратоміри змінного рівня	20
1.1.4 Тахометричні витратоміри	21
1.1.5 Вихровий витратомір.....	28
1.1.6 Витратомір Коріоліса.....	32
1.2 Витратоміри на основі хвильових явищ	34
1.2.1 Ультразвуковий витратомір	34
1.2.2 Оптичні витратоміри	38
1.3 Електромагнітний витратомір.....	40
1.4 Міткові витратоміри	45
1.5 Вимоги до ультразвукового витратоміра.....	46
1.6 Режими роботи.....	48
1.7 Варіанти виконання витратомірів.....	52
1.8 Пристрій.....	54
Висновок до розділу 1	60
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ.....	61
2.1 Структурна схема	61
2.2 Опис конструкції	62
2.3 Принцип роботи	62
Висновок до розділу 2.....	77
3 СТАРТАП-ПРОЕКТ “КАЛІБРУВАННЯ ВИТРАТОМІРА”	78
3.1 Опис ідеї проекту.....	78
3.2 Технологічний аудит ідеї проекту	82
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	83
3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	90
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	92

Висновки до розділу 3.....	95
Загальний висновок.....	97
Перелік посилань	98

ВСТУП

Широке впровадження автоматизованих систем управління та має важливе значення для підвищення продуктивності та ефективності промислових підрозділів.

Однією з умов ефективного використання цих систем є підвищення точності їх включених приладів, в тому числі лічильників. Метрологічні вимоги до останніх також стають дедалі жорсткішими через збільшення споживання промисловістю кисню та природного газу.

Щоб задовольнити ці вимоги, необхідно знайти, вивчити і практично використати інструментально-методичний спосіб для підвищення точності вимірювання споживання.

Для вимірювання споживання поряд з ультразвуковими лічильниками використовуються тахометричні, масометричні, теплові, вимірювачі потужності, витратомітри, акселератори, змінні лічильники тиску тощо.

Акустичний метод вимірювання потоку рідин і газів заснований на тому, що швидкість розподілу ультразвукових коливань в рухомому середовищі відносно обраного кадру еталонної системи визначається геометричною сумою швидкості ультразвукової коливань з навколишнім середовищем. Виміряне значення загальної швидкості на відоме значення зі значенням. Таким чином, метод заснований на переміщенні ультразвукової хвилі виміряним середовищем в напрямку її руху.

Практичне застосування методу ускладнюється рядом притаманних йому негативних факторів. По-перше, це залежність власної швидкості ультразвукових коливань від фізико-хімічних властивостей вимірюваного середовища (температура, тиск, концентраційний склад). По-друге, залежність вимірювання швидкості навколишнього середовища від кількості Рейнольдса (при вимірюванні швидкості потоку в середньому по ультразвуковому променю, а не по ділянці трубопроводу), і, по-третє,

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

10

швидкість ультразвукових коливань набагато вище швидкості руху вимірюваного середовища (від двох до трьох замовлень по відношенню до швидкості транспортування рідини через трубопроводи, що використовуються в промисловості).

Однак ультразвукові лічильники, які є технічною реалізацією акустичного методу, все частіше використовуються в металургійній, нафтохімічній та інших галузях промисловості, завдяки своїм перевагам, до яких відносяться:

- відсутність падіння тиску на основний перетворювач;
- висока швидкість, що дозволяє вимірювати пульсуючі потоки з високими показниками пульсації;
- можливість роботи на рідинах з будь-якою в'язкістю, а також кріогенних і неелектронних рідинах.

1 Огляд і аналіз витратомірів

1.1 Витратоміри механічної дії

1.1.1 Манометричні витратоміри

Манометричні витратоміри - витратоміри змінного перепаду тиску (ВЗПТ). Використовуються при контролі витрат рідких і газоподібних середовищ. Дозволяють вимірювати великі витрати середовищ при високому внутрішньому тиску в трубопроводах.

Принцип роботи заснований на вимірюванні перепаду тиску, що виникає на спеціальному звужувальному пристрої, вміщеному в трубопроводі. Види звужувальних пристроїв показано на рис1 [1].

Достатня точність контролю забезпечується тільки стандартними звужувальними пристроями (на рис. 1), які виготовляються з високою точністю зі спеціальних сталей. Для чистих рідин і газів застосовують нормальні діафрагми, для контролю витрати пульп і суспензій рекомендується використовувати сопло або трубу Вентурі, робочі поверхні яких для підвищення зносостійкості можуть футеруватися різними стійкими до стирання матеріалами (наприклад, кам'яне литво) або гумуватися (покриття гумою) [1].

Для запобігання попаданню твердої фази контрольованого середовища в порожнини дифманометрів контроль тиску здійснюється за допомогою розділювальних посудин. Верхня і нижня порожнини розділювальних посудин розділені в'ялою мембраною, при цьому верхні порожнини і порожнини диференціального манометра заливаються дистильованою водою.

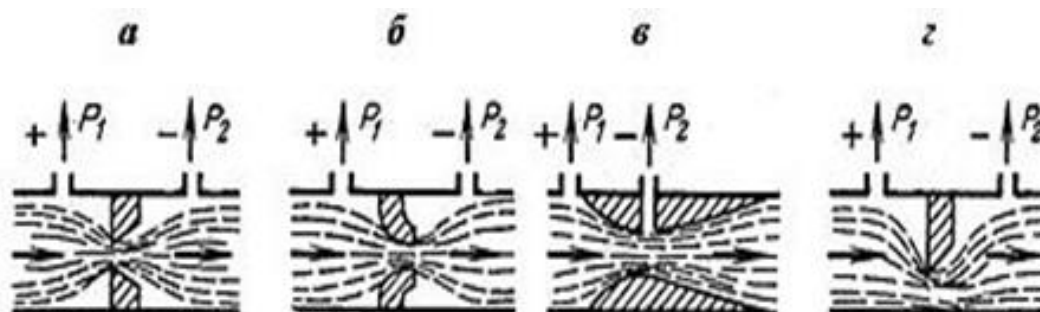


Рис.1 Види звужувальних пристроїв: а-нормальна діафрагма; б-соплів; в-труба Вентурі; г- сегментна діафрагма.

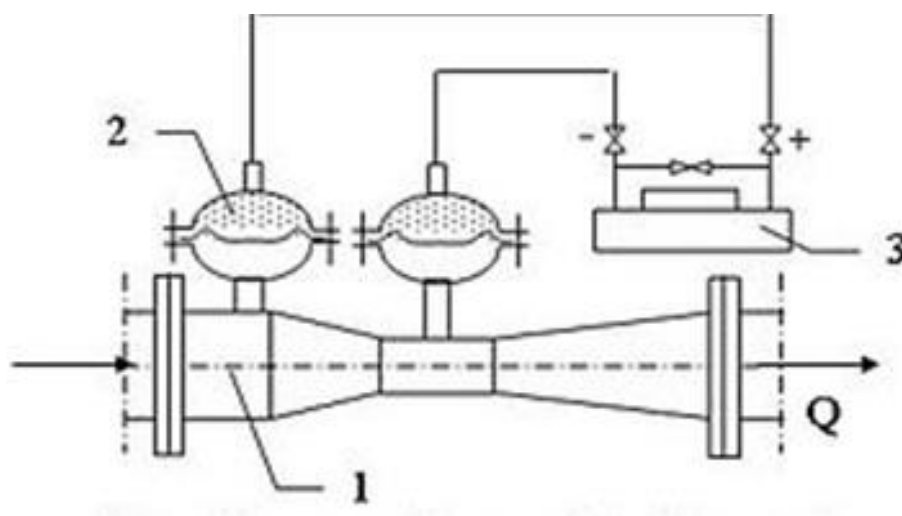


Рис.2 Витратомір з трубкою Вентурі: 1-труба Вентурі; 2-розділювальні посудини; 3-дифманометр.

1.1.2 Витратоміри обтікання

Витратоміри обтікання (витратоміри зі змінною площею) — це прилади для вимірювання витрат (витратоміри), у яких вимірюваний потік проходить через зазор (як правило, кільцеподібний) між двома елементами. Ці елементи розташовані таким чином, що динамічні сили потоку переміщують один елемент (тіло обтікання) відносно іншого, протидіючи силам (ваги або пружності), таким чином, що площа поперечного перерізу зазору зростає зі зростанням витрат. Показами приладу можуть бути як зміна величини зміщення рухомого елемента відносно положення при відсутності течії, так і зміна перепаду тиску між обома сторонами змінної площі [2].

Принцип роботи витратомірів обтікання ґрунтується на залежності переміщення тіла, що знаходиться в потоці і сприймає динамічний тиск потоку, що його обтікає від витрати речовини [2].

Найпоширенішими витратомірами обтікання є витратоміри постійного перепаду тиску — ротаметри, поплавкові і поршневі. Принцип роботи витратомірів постійного перепаду тиску базується на залежності вертикального переміщення тіла — поплавця (поршня) від витрати речовини, що при цьому зміщенні у потоці змінює площу прохідного отвору приладу таким чином, щоб забезпечити сталий перепад тиску між обома сторонами поплавця (поршня).

У деяких витратомірах обтікання, що називаються витратомірами обтікання змінного тиску — поплавцево-пружинні, з поворотною лопаттю, переміщення тіла обтікання характеризує величину тиску чи зусилля, прикладеного до нього, що зрівноважує зусилля від динамічного тиску потоку на тіло, що є функцією масової витрати.

Витратоміри постійного перепаду

До даної групи відносять ротаметри і поршневі витратоміри. Тут при зміні витрати середовища змінюється прохідний перетин за рахунок переміщення робочого елемента вгору – поплавка в ротаметрах або поршня в поршневих витратомірах [3].

Назва «ротаметр» бере свій початок від назви німецької фірми Rota-Yokogawa, що першою запатентувала таку конструкцію;

Ротаметр являє собою довгу конічну трубку, що розміщена вертикально, уздовж якої під дією рухомого знизу вгору потоку переміщається поплавець. Поплавець переміщається до тих пір, поки площа кільцевого отвору між поплавцем і внутрішньою поверхнею конусної трубки не досягне такого розміру, при якому перепад тиску між протилежними сторонами поплавця не стане рівним розрахунковому. При цьому сили, що діють на поплавець врівноважуються, і поплавець встановлюється на висоті, що відповідає певному значенню витрати [3].

У верхній частині поплавця часто роблять нахилені (гаинтові) пази, котрі спричиняють його обертання. При обертанні поплавець центрується всередині трубки не торкаючись стінок, що збільшує його чутливість.

Ротаметри із скляною трубкою використовують для тисків до 1 МПа, для вищих тисків (до 32 МПа) застосовують металеві трубки. Відносний діапазон вимірювання 10:1. Умовні проходи від $D_y = 3 \dots 200 \text{ мм}^{[2]}$

Переваги:

- простота конструкції і надійність у роботі;
- широкий діапазон вимірювання.

Недоліки:

- необхідність вертикального розташування;

					МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		15

- висота підняття поплавця-індикатора залежить від густини та в'язкості середовища;
- необхідність візуального зчитування показів, що ускладнює використання такої конструкції в засобах автоматизації;
- оптичне зчитування можливе лише для прозорих рідин.



Рис.3 Конструкція ротаметра

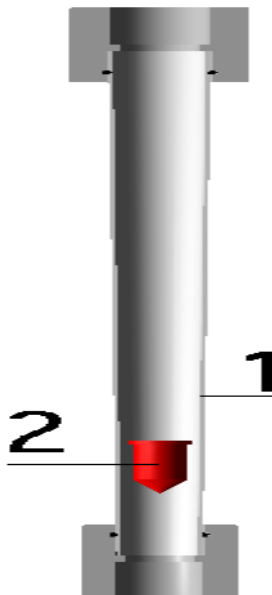


Рис.4 Ротаметр із скляною трубкою: 1- довгу конічну трубку; 2- поплавок.

Поплавковий витратомір

Поплавковий витратомір постійного перепаду тиску складається з поплавця і конічного сидла, розташованих в корпусі приладу. Конічне сидло виконує ту ж роль, що і конічна трубка ротаметра. Різниця полягає в тому, що довжина і діаметр сидла приблизно рівні, а у ротаметрів довжина конічної трубки значно більша за її діаметр.

Поплавець у цих приладах пов'язаний жорстким стержнем із залізним сердечником або магнітом для дистанційної передачі сигналу. Хід поплавця не перевищує 40...70 мм. Основна приведена похибка у комплекті із вторинним вимірювальним перетворювачем диференційно-трансформаторного типу становить $\pm 2,5 \%$.

У поршневого (золотникового) витратомірі чутливим елементом є поршень, який під дією перепаду тиску переміщається усередині втулки. Втулка має вхідний отвір і вихідний отвір. Вимірювана речовина поступає під поршень і, піднімаючи його, виходить через вікно чи отвір у втулці. Поршень за допомогою штока з'єднаний з сердечником передавального перетворювача. Чим більша витрата, тим вище піднімається поршень, відкриваючи все більшу частину отвору у втулці. Перепад тиску на поршні при цьому залишається сталим. Обравши певну форму вікна, можна отримати бажану (лінійну) залежність між витратою і переміщенням поршня [4].

Переваги:

- простота переходу на інший діапазон вимірювання шляхом зміни маси вантажу, що діє на поршень;
- можливість вимірювання витрати рідин з механічними домішками.

Витратоміри змінного перепаду тиску

До витратомірів змінного перепаду тиску відносяться витратоміри, у яких сила, що намагається закрити отвір, забезпечується пружиною, а не силою тяжіння, так що витратомір може встановлюватись горизонтально. У деяких моделях показом приладу є переміщення підпружиненого конуса, в інших — перепад тиску [4].

Попларково-пружинні витратоміри

Якщо поплавець чи поршень у витратомірах описаних вище конструкцій сполучити з пружиною, то отримається попларково-пружинний витратомір, у якому динамічний тиск потоку долає не тільки вагу рухомого елемента, але і пружні сили пружини.

Переваги попларково-пружинних витратомірів:

- можливість суттєвого збільшення максимальної границі вимірювання;
- зручність переходу на інший діапазон вимірювання, шляхом заміни пружини.

Реалізовані конструкції попларково-пружинних витратомірів досить різноманітні.

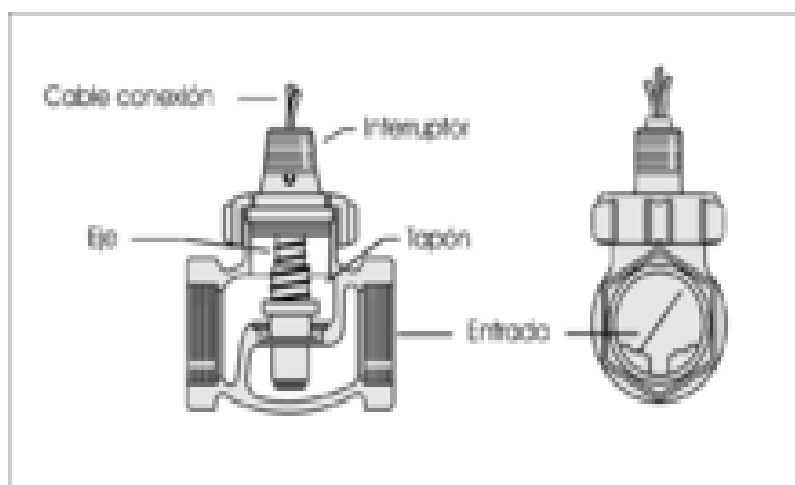


Рис.5 Поплавково-пружинний витратомір з вертикальним розміщенням поплавця

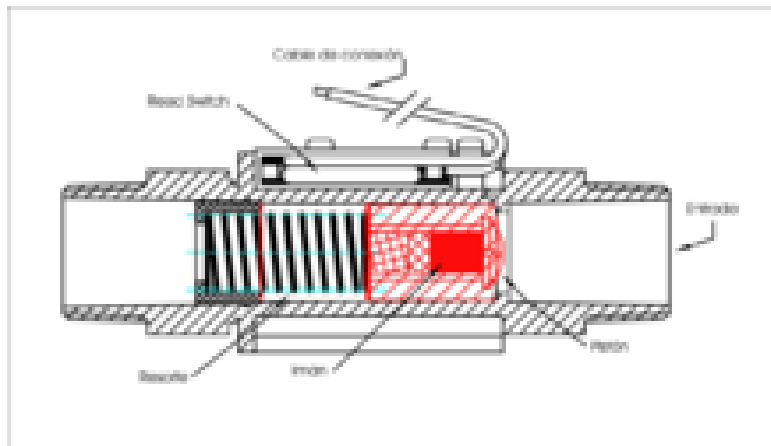


Рис.6 Поплавково-пружинний витратомір з горизонтальним розміщенням поплавця

Витратоміри з поворотною лопаттю

Така конструкція реалізується шляхом підвішування у трубопроводі лопаті, що сприймає гідродинамічний тиск рідини чи газу. Витрата визначається за кутом повороту лопаті або за величиною сили протидії, що зрівноважує тиск потоку.

За видом сили протидії дані витратоміри поділяються на витратоміри з вантажним і з пружинним зрівноваженням, а також на компенсаційні: з пневматичним чи електромагнітним зрівноваженням.

Переваги:

- великий діапазон вимірювання (1:20);
- можливість використання при обох напрямках потоку;
- можливість використання для вимірювання великих витрат в умовах високих температур та в агресивних середовищах;

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

19

- мають хороші динамічні характеристики.

Недоліки:

- можливість появи вібрацій внаслідок утворення вихорів, боротьба з якими ускладнює конструкцію.

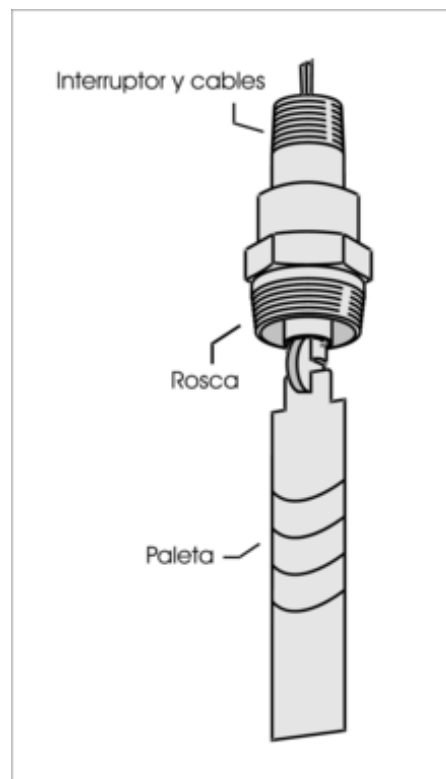


Рис.7 Поворотна лопать витратоміра з вторинним вимірювальним перетворювачем

1.1.3 Витратоміри змінного рівня

Витратоміри змінного рівня — реалізують відому залежність витрати рідини через отвір витоку, розташований у дні посудини, від рівня рідини. Найбільше поширення отримали витратоміри з пульпопливом (рис.8), де контрольоване середовище витікає з допоміжної посудини (витратомірний бак) через калібровану щілину. Це так звані щілинні витратоміри [5].

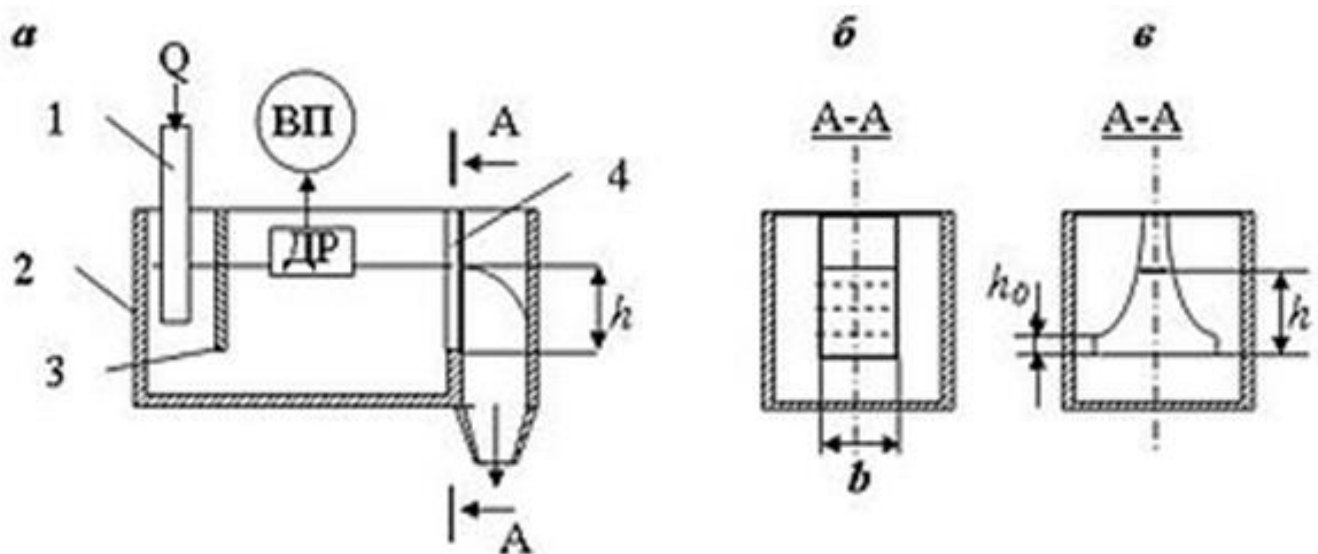


Рис.8 Щілинний витратомір: а-загальна схема; б-прямокутний пульпоплив ; в-пропорційний пульпоплив; 1-живильний патрубок; 2-витратомірний бак; 3-перегородка заспокоювання; 4-перегородка з щілиною витоку; ДР- датчик рівня; ВП- вторинний реєструючий прилад.

1.1.4 Тахометричні витратоміри

Тахометричний витратомір – витратомір, який має рухомий (зазвичай обертовий елемент), швидкість руху якого пропорційна об'ємній витраті.

Принцип дії тахометричного витратоміра заснований на вимірюванні швидкості обертання або підрахунку обертів крильчатки чи турбіни, які поміщені в потік. Різниця між крильчаткою і турбіною полягає в тому, що вісь обертання крильчатки розташована перпендикулярно, а турбіни – паралельно напрямку руху потоку. Всі тахометричні витратоміри є енергонезалежними [6].



Рис.9 Тахометричний витратомір

Тахометричні витратоміри поділяються на:

- швидкісні:
 - турбінні;
 - кулькові;
- роторно-кулькові;
- камерні.

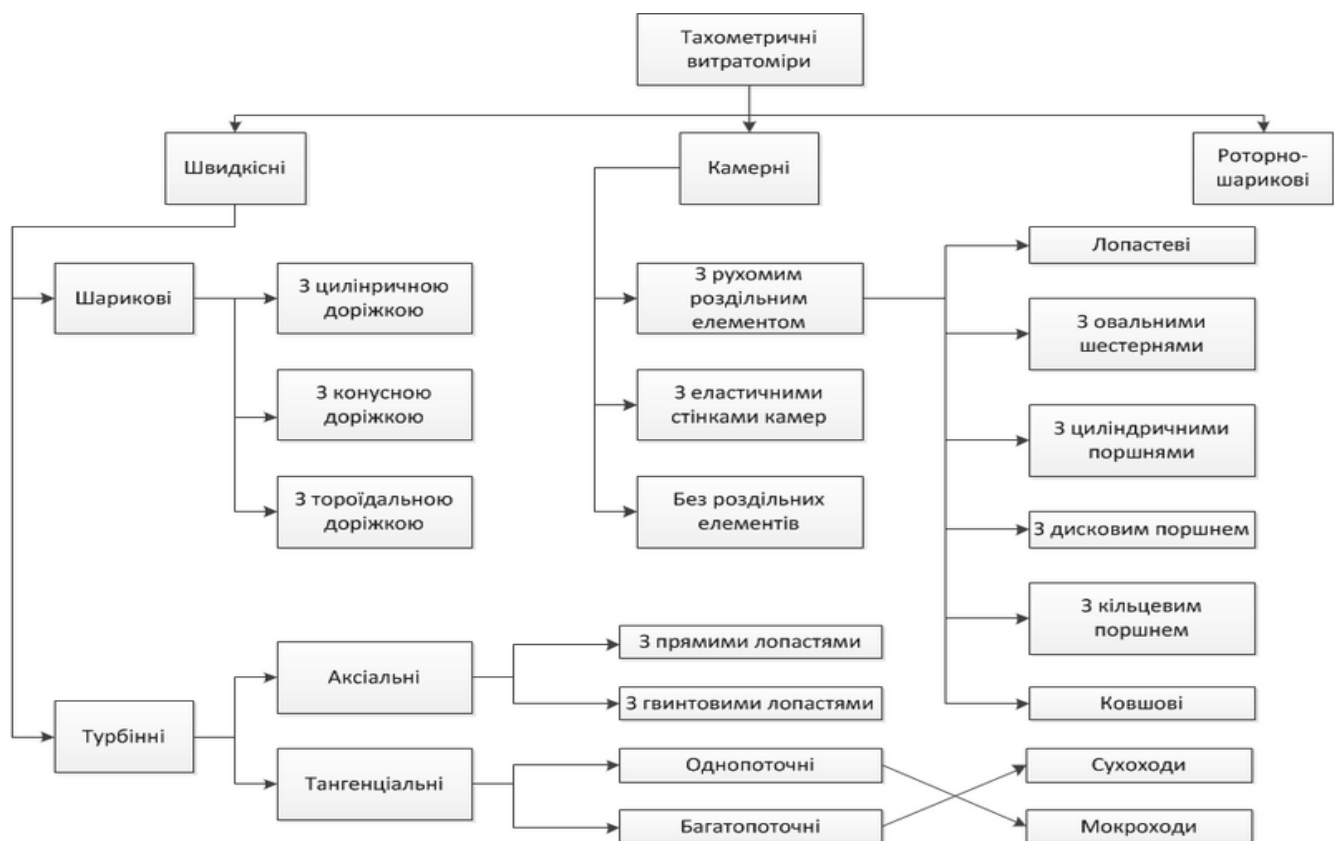


Рис.10 Класифікація

Принцип роботи при вимірюванні швидкості руху рухомого елемента отримуємо витратомір, а вимірюючи загальну кількість оборотів отримуємо кількості речовини. Найбільшого поширення набули лічильники води та газу, так як для цього треба лише з'єднати вал турбіни або іншого перетворювача витрати через зубчастий редуктор з рахуючим механізмом [6].

Для створення тахометричного витратоміра швидкість руху елемента попередньо переводять в сигнал, пропорційний витраті, який є зручним для вимірювання. Для цього необхідний двоступінчастий перетворювач витрати:

1. Перший ступінь - турбинка (кулька або інший елемент), швидкість руху якої пропорційна об'ємній витраті;

2. Другий ступінь - тахометричний перетворювач, який виробляє вимірювальний сигнал (частоту електричних імпульсів), пропорційний швидкості руху тіла.

Тут вимірювальним приладом є цифровий або аналоговий електричний частотомір. Доповнивши частотомір лічильником електричних імпульсів, отримаємо лічильник кількості пройденної речовини. Тахометричні витратоміри ще не отримали такого широкого розповсюдження, як лічильники кількості рідини і газу. Їх суттєвими перевагами є: швидкодія, висока точність і великий діапазон вимірювання. Так, якщо похибка турбінних лічильників води (вісь яких через редуктор пов'язана з рахуючим механізмом) дорівнює $\pm 2\%$, то у вимірювачів кількості, які мають тахометричний перетворювач, ця похибка знижується до $\pm 0,5\%$. Це пояснюється тим, що цей перетворювач майже не навантажує вісь турбіни. Похибка турбінного витратоміра лежить в межах (0,5 - 1,5) % в залежності від точності частотоміра, який використовується.

Турбінний тахометричний витратомір

Турбінні тахометричні витратоміри і лічильники кількості можуть виготовлятися для труб діаметром від 4 до 750 мм, для тисків до 250 МПа і температур від -240 до +700 ° С. Турбінні прилади найчастіше застосовуються для вимірювання витрати та кількості води, різних нафтопродуктів та інших рідин. Основним недоліком турбінних витратомірів є зношування опор, внаслідок чого вони непридатні для речовин, що містять механічні домішки. Крім того, вони не можуть бути використані для дуже в'язких речовин, оскільки із збільшенням в'язкості речовини діапазон їх лінійної характеристики зменшується. Турбіни більш придатні для рідин, ніж для газів.

На рис.11 показана принципова схема турбінного тахометричного витратоміра:

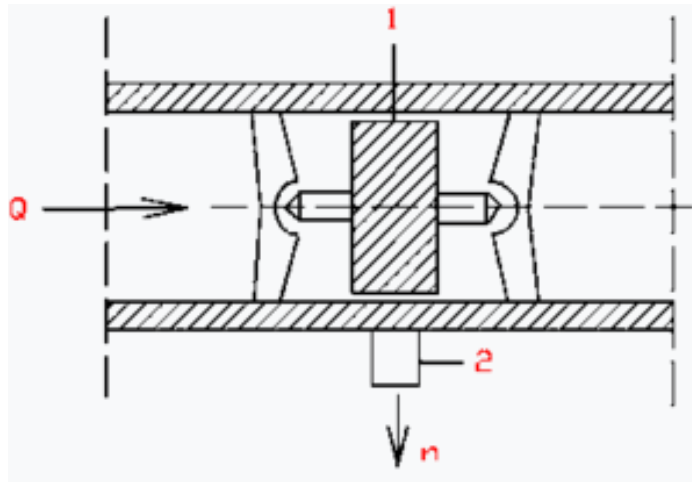


Рис.11 Турбінний витратомір: 1.турбина; 2.тахометр

Кульковий витратомір

Кулькові витратоміри з'явилися пізніше турбінних. Їх застосовують для вимірювання витрати рідин, головним чином води, в трубах діаметром до 150-200 мм. У кулькових первинних перетворювачах витрати чутливим елементом є кулька, що переміщується по окружності. Її рух забезпечується гвинтовим напрямним апаратом, який закручує потік, або тангенціальним підведенням вимірюваної рідини. У даних перетворювачах витрати кулька, яка захоплюється закрученим потоком рідини, рухається зі швидкістю, пропорційною коловій швидкості потоку, а значить і його об'ємній витраті.

На рис.12 показано первинний перетворювач кулькового витратоміра:

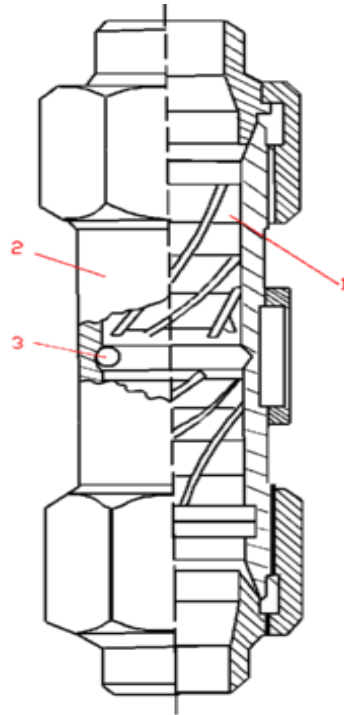


Рис.12 Первинний перетворювач кулькового витратомір: 1.напрямний апарат;
2.корпус перетворювача витрати; 3.феромагнітна кулька.

У корпусі кулькового перетворювача витрати розташовується нерухомий вузол, що містить ступицю і два направляючих апарата з обмежувальними кільцями. Між останніми в канавці знаходиться феромагнітна кулька. Із зовнішнього боку корпуса є місце для кріплення на гвинтах тахометричного індукційного перетворювача, що складається з котушки і магнітного осердя. Потік рідини, проходячи закручує апарат зі змінним по довжині гвинтовим кроком, набуває обертального руху і забезпечує обертання кулі. Вихідний гвинтовий шнек виконаний аналогічно до вхідного, що забезпечує реверсивність роботи витратоміру.

Кульковий витратомір призначений для вимірювання витрати в межах $2 \div 8 \text{ м}^3 / \text{год}$ при тиску 5 МПа і температурі $20 \div 200 \text{ }^\circ\text{C}$. Похибка даних приладів лежить в межах $\pm (1,5-2) \%$. В процесі експлуатації кулькових витратомірів відбувається поступовий знос доріжок кочення і кулі. При зносі

кулі так само, як і при зносі доріжки кочення, у приладу з'являється негативна похибка, тобто його свідчення стають заниженими. Із збільшенням в'язкості рідини зменшується область виміру, в межах якої зберігається сталість градування кулькового перетворювача витрати.

Головною перевагою даних перетворювачів є можливість їх роботи в забруднених середовищах, а також простота конструкції.

До їх недоліків можна віднести:

- підвищені гідравлічні втрати;
- вузький діапазон лінійності статичної характеристики;
- залежність показань від в'язкості вимірюваної рідини.

Роторно-кульковий витратомір

Роторно-кульові витратоміри з'явилися порівняно недавно і поки не отримали широкого застосування. У приладах даного типу, на відміну від кулькових, чутливий елемент рухається не по колу, а обертається навколо своєї осі під дією потоку вимірюваної рідини.

Роторно-кульові витратоміри мають наступні переваги:

- простоту конструкції;
- можливість вимірювання витрати рідин, що містять механічні домішки.

Але їм властиві такі недоліки:

- зависання чутливого елемента в отворі по осі потоку і можливе припинення його обертання;
- збільшення амплітуди коливань рухомого елемента і як наслідок удари об стінки вимірювальної камери;

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

27

- складнощі із забезпеченням надійності перетворювача частоти обертання рухомого елемента в частотний вихідний сигнал.

Камерний витратомір

Камерні прилади як лічильники рідини і газу поряд з турбінними використовуються вже давно. Вони відрізняються великою різноманітністю рухомих елементів. Камерні витратоміри для вимірювання витрати рідин можна розділити на дві групи:

- без рухомих роздільних елементів;
- з рухомими роздільними елементами.

Витратоміри першої групи складаються з однієї або декількох послідовно спорожняється і заповнюється вимірювальних камер. До цієї групи належать перекидні ППР, що вимірюють масу або об'єм рідини; обертові барабанні, що вимірюють обсяг рідини; прилади з коливним дзвоном. Тахометричні витратоміри без рухомого розділового елемента - найбільш точні. Їх застосовують тільки для вимірювання невеликих витрат при обмеженому тиску вимірюваної рідини.

Витратоміри другої групи мають наступні різновиди: роторні, поршневі, дискові, з овальними шестернями, лопастеві, гвинтові і т. д. Вони застосовуються частіше за інших. Складаються ці прилади з жорсткої камери, в якій при безперервному переміщенні одного або декількох роздільних елементів (поршня, диска, роторів і т. п.) здійснюється відмірювання об'ємів рідини.

Дані прилади можуть забезпечити більшу точність і більший діапазон вимірювання в порівнянні з турбінними і кульковими лічильниками кількості речовини. Так похибка у деяких з них складає всього $\pm (0,2-0,5) \%$. Важливою перевагою камерних лічильників є їх придатність для вимірювання кількості рідини практично будь-якої в'язкості, в тому числі і дуже великий. Але вони мають істотний недолік - чутливість до забруднень і механічних домішок. У переважній більшості камерні прилади застосовуються тільки для вимірювання кількості, а не витрати, так як вони виготовляються без тахометричних перетворювачів.

1.1.5 Вихровий витратомір

Вихровий витратомір (дивитись на рис.13)— різновид витратоміра, принцип дії якого ґрунтується на вимірюванні частоти коливань, що виникають у потоці в процесі утворення вихорів.



Рис.13 Вихровий витратомір

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

29

Принцип роботи

В основі методики вимірювання лежить явище, що має назву «Вихрова доріжка Кармана» (назване на честь дослідника Теодора фон Кармана), згідно з яким при обтіканні нерухомого твердого тіла потоком рідини за тілом утворюється вихрова доріжка, що складається з вихорів, які по чергову зриваються з протилежних боків тіла (див. рис.14)[7]. Частота утворення вихорів f за тілом у першому наближенні є пропорційною до швидкості потоку V і залежить від безрозмірного критерія Sh (числа Струхала) і ширини тіла обтікання d

$$f = Sh \frac{V}{d}.$$

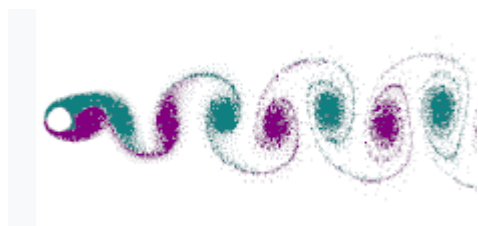


Рис.14 Анімація вихрової доріжки Кармана

Класифікація

Детектування вихорів та вимірювання частоти їх утворення дозволяють визначити швидкість та об'ємну витрату рідини. У залежності від способу визначення частоти вихорів розрізняють вихрові витратоміри на основі п'єзодатчиків та вихроакустичні витратоміри [7].

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.

Типова схема такого вихрового витратоміра включає проточну частину витратоміра, встановлену за допомогою фланців в трубопроводі, котра містить тіло обтікання, за яким попарно встановлені 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 з 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 комп'ютер верхнього рівня вимірювальної системи чи системи керування [8].

Вихрові витратоміри з п'єзоелектричними датчиками знайшли застосування для вимірювання витрат рідин, газів і пари на трубах діаметром від 15 до 500 мм з динамічним діапазоном 1:40 і вище та відносною похибкою $+(1 \dots 1,5) \%$ за температур контролюваного середовища від мінус 60 до 500 °C й тисках до 30 МПа, забезпечуючи на світовому ринку понад 5 % засобів обліку рідких та газоподібних енергоносіїв.

Вихороакустичні витратоміри

У вихороакустичних витратомірах як тіло обтікання застосовується призма з трапецевидним перетином, а детектування вихорів здійснюється за допомогою ультразвукових перетворювачів п'єзовипромінювача та п'єзоприймача, розміщених за тілом обтікання поперечно до потоку діаметрально протилежно. На п'єзовипромінювач від генератора подається змінна напруга, що перетворюється в ультразвукові коливання. Пройшовши

через потік, ці коливання в результаті взаємодії з вихорами модулюються за фазою. На п'єзоприймачі ультразвукові коливання перетворюються в електричні і подаються на фазовий детектор, де визначається зсув фаз між сигналами генератора і п'єзоприймача. На виході фазового детектора утворюється напруга, що за частотою відповідає частоті вихорів, що через пропорційність до швидкості потоку є мірою витрати [8].

Перевагою вихрових витратомірів є

- відсутність будь-яких рухомих деталей усередині трубопроводу;
- досить низька нелінійність ($<1,0\%$) в широкому діапазоні вимірювань ($>1:10 \dots 1:40$);
- частотний вихідний сигнал;
- інваріантність методу відносно електричних властивостей і агрегатного стану рухомого середовища.

Проблеми та недоліки

Слід зазначити, що фізичні процеси, що відбуваються у потоці за тілом обтікання, є складними. Тут виникають пульсації тиску, температури, швидкості звуку та інших фізичних параметрів. Не дивлячись на бурхливий розвиток чисельних методів, що використовуються у розрахунках складних об'єктів, до цих пір відсутні задовільні математичні моделі гідродинамічних процесів, що мають місце у вихрових витратомірах. А це, у свою чергу, обумовлює відносно низький діапазон параметрів, за яких витратоміри такого типу можуть використовуватись для вимірювань із заданою точністю.

1.1.6 Витратомір Коріоліса

Витратомір Коріоліса (дивитись на рис.15) – у якому вимірювання масової витрати здійснюється на основі прояву сили Коріоліса. Свою назву цей витратомір отримав на честь Гаспара Г.Коріоліса (1792-1843) [9],



Рис.15 Витратомір Коріоліса

Переваги

Витратоміри цього типу визначають масову витрату безпосередньо, а не через вимірювання швидкості чи об'єму. Робота витратоміра Коріоліса не залежать ні від тиску рідини, ні від її температури, ні від її в'язкості і густини. Тому такі датчики є універсальними і не вимагають проведення повторних калібрувань і підналагодження під кожен конкретний тип рідкого середовища. Хоча перші витратоміри працювали тільки з рідинами, наступні конструкції були адаптовані і для роботи з газами [10].

До інших переваг вимірювання витратоміром Коріоліса слід віднести наступне:

- висока точність ($\pm 0,05\%$) та повторюваність ($\pm 0,02\%$) результатів вимірювання;

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

33

- можливість використання незалежно від напрямку потоку;
- не потрібні прямолінійні ділянки трубопроводу до і після витратоміра;
- тривалий термін служби і простота обслуговування завдяки відсутності рухомих і зношуваних частин;
- можливість вимірювання витрат середовищ з високою в'язкістю;
- дозволене використання в харчовій і фармацевтичній промисловості.

Недоліки

Основним недоліком витратомірів Коріоліса є їх порівняно висока вартість.

Будова і принцип роботи

Типовий вимірювач витрати складається з однієї або двох вібруючих трубок, зазвичай виготовлених з неіржавної 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 в принципі вони можуть бути і іншої форми. Для газів застосовуються тонші трубки, ніж для рідин. Трубкам надається вібрація від зовнішнього електромеханічного пристрою збудження коливань [11].

Згідно із законами механіки, одночасний обертальний і поступальний рух тіла супроводжується появою сили інерції Коріоліса. Величина і напрямок прискорення Коріоліса визначається подвоєним векторним добутком відповідних кутової та лінійної швидкостей. Тоді сила Коріоліса пропорційна векторному добутку цих швидкостей і масі рухомого тіла. У витратомірі Коріоліса обертовий рух замінено осцилюючим рухом (вібрацією) вимірювальної труби. У результаті дії інерційних сил, що виникають при цьому викликається затримка у фазі коливань на вході в трубу і їх прискорення у вихідному перерізі. В результаті чого під дією

результуючої сили дві частини трубки зміщуються одна відносно одної згідно з циклом вібрацій [12].

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



Рис.16 Витратомір у процесі роботи

1.2 Витратоміри на основі хвильових явищ

1.2.1 Ультразвуковий витратомір

Ультразвуковий (акустичний) витратомір (дивитись на рис.17)— витратомір, у якому для вимірювання швидкості потоку рідини або газу використовують ультразвук.

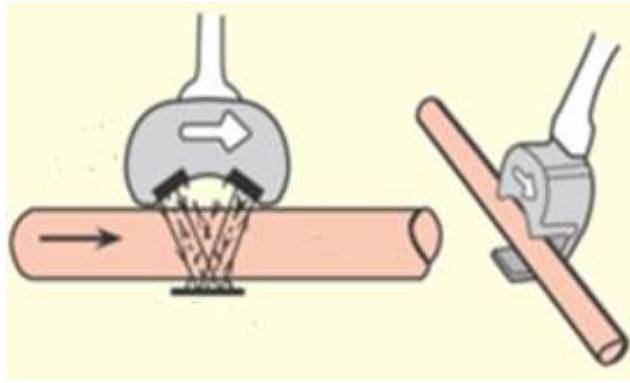


Рис.17 Принцип роботи ультразвукового сенсора

Конструктивний особливості

Звукові коливання високої частоти (20 кГц і вище), що створюються електроакустичним вібратором (випромінювачем), проходять через середовище, що рухається трубопроводом, й реєструються приймачем, який розташований від випромінювача на відстані D [13].

Класифікація за принципом роботи

Існують три основні методики визначення швидкості потоку, а на її основі і витрати рідини за допомогою ультразвуку:

- часово-імпульсний спосіб (спосіб фазового зсуву), котрий здійснює вимірювання різниці фазових зсувів ультразвукових хвиль, що направляються за потоком й проти нього; ,
- детектування зміни частоти ультразвуку, викликаной рухомим середовищем (доплерівські витратоміри), котрий використовує вимірювання різниці частот повторення коротких імпульсів або пакетів ультразвукових коливань, що спрямовують одночасно за потоком й проти нього;

- метод вимірювання часу поширення ультразвуку (знос ультразвукового сигналу), який ґрунтується на вимірюванні різниці тривалості проходження коротких імпульсів, що направляються одночасно за потоком й проти нього.

Крім того, існує окремий метод визначення витрат, що базується на вимірюванні зміщення потоком ультразвукової хвилі, котра спрямовується перпендикулярно до напрямку руху середовища [14].

Часовий-імпульсний метод

Цей метод полягає у визначенні різниці фаз між переданим і прийнятим імпульсним сигналом. Вираз для різниці фаз можна вивести з рівняння

$$\Delta f = \frac{2\pi f D V_c \cos \beta}{c^2} \quad (1)$$

де: c — швидкість звуку в середовищі;

V_c — швидкість потоку, усереднена вздовж шляху поширення ультразвуку;

f — частота ультразвукового сигналу;

D — шлях проходження ультразвукового сигналу.

Доплерівські витратоміри

У доплерівських витратомірах використовується безперервне випромінювання ультразвукових хвиль. Як і у доплерівському радіоприймачі тут відбувається знаходження різниці частот випроміненого і прийнятого сигналів у частотному змішувачі з фільтром. Частота вихідного сигналу визначається виразом:

$$\Delta f = f_s - f_r \approx \pm \frac{2f_s V}{c}, \quad (2)$$

де: f_s, f_r — відповідно, частоти сигналу випромінювання і приймання.

З останнього виразу видно, що різниця частот є прямо пропорційною швидкості потоку. Очевидно, що розміри кристалів повинні бути набагато меншими поперечного перерізу труби, в якій вимірюється швидкість потоку. Тому виміряна швидкість є не середньою, а локальною швидкістю потоку. На практиці завжди слід калібрувати ультразвукові датчики в усьому температурному діапазоні для кожного конкретного середовища і також потрібно враховувати в'язкість рідини [14].

Метод вимірювання часу поширення ультразвуку

Ефективна швидкість звуку в рухомому середовищі дорівнює швидкості звуку в цьому середовищі плюс швидкість середовища відносно джерела звуку. Таким чином, поширення звукової хвилі проти руху потоку середовища призведе до зменшення ефективної швидкості звуку, а вздовж потоку — до збільшення. Різниця між цими двома ефективними швидкостями звуку дорівнює подвоєній швидкості потоку середовища. Тому ультразвукові датчики для визначення швидкості потоку вимірюють швидкість звуку уздовж і проти течії.

Конструктивно два ультразвукових генератора, розташовані на двох протилежних кінцях труби, по якій тече потік рідкого середовища. Як ультразвукові генератори, як правило, використовуються п'єзоелектричні кристали. Кожен кристал може використовуватися або для створення ультразвукових хвиль, або для їх прийому [14].

У випадку, якщо кристали розташовані на відстані D один від одного під кутом β до напрямку потоку. Також можливе розташування малих кристалів прямо всередині труби строго по напрямку потоку ($\beta = 0$). Час поширення звуку між двома кристалами пов'язаний з середньою швидкістю потоку V_c наступним співвідношенням:

$$T = \frac{D}{c \pm V_c \cos \beta}, \quad (3)$$

де: c — швидкість звуку в середовищі;

V_c — це швидкість потоку, усереднена вздовж шляху поширення ультразвуку.

Знак $\pm$ означає напрям поширення звуку. Визначивши різницю між швидкостями звуку вздовж і проти течії, можна записати:

$$\Delta T = \frac{2DV_c \cos \beta}{c^2 + V_c \cos^2 \theta} \approx \frac{2DV_c \cos \beta}{c^2} \quad (4)$$

Основні переваги

Широкому розповсюдженню акустичних витратомірів сприяє:

- можливість їх застосування для вимірювання витрат забруднених і агресивних середовищ,
- безінерційність вимірювання,
- безконтактність вимірів,
- відсутність рухомих частин в потоці,
- відсутність втрат тиску в трубопроводах та ін.

1.2.2 Оптичні витратоміри

Оптичні (лазерні) витратоміри — витратоміри, робота яких базується на використанні залежності оптичних ефектів від швидкості руху рідини чи газу.

Види оптичних витратомірів

Поширення набули два конструктивні різновиди оптичних (лазерних) витратомірів, що відрізняються фізичними явищами, що лежать в основі принципу їх роботи:

- доплерівські витратоміри, принцип роботи яких ґрунтується на вимірюванні різниці частот, що виникає при відбиванні світлового променя рухомими частками потоку. Переважно використовуються для вимірювання локальних швидкостей рідин та газів і знайшли застосування у дослідницьких роботах, пов'язаних з вивченням турбулентності та вивченням полів розподілу швидкостей у потоках. Для вимірювання витрат використовуються рідко;
- витратоміри, що базуються на ефекті Фізо-Френеля, у яких вимірюється якийсь параметр (зсув інтерференційних смуг чи зсув частоти коливань величини світлового потоку), пов'язаний із залежністю швидкості світла у рухомому середовищі із швидкістю руху останнього. Основне призначення — вимірювання витрат [15].

Іноді оптичними витратомірами називають прилади, що визначають витрату рідини, що витікає з ємності шляхом вимірювання оптичними методами висоти рівня у ній. Також, існує метод вимірювання витрати на основі визначення інтенсивності виходу з ємності флуоресцентних часток, попередньо введених у рідину. Очевидно останній метод ближче стоїть до міткових витратомірів [16].

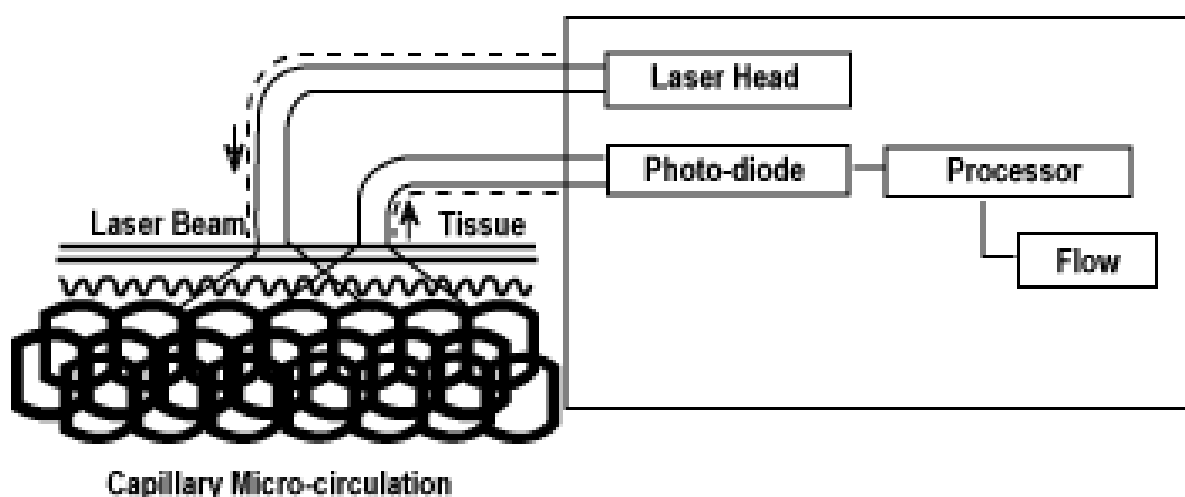


Рис.18 Принцип роботи оптичного витратоміра на базі ефекту Доплера

Переваги оптичних витратомірів:

- безконтактність;
- висока чутливість;
- мала інерційність;
- широкий діапазон вимірів швидкостей (0,1...100 м/с) і витрат незалежно від фізичних властивостей вимірюваного середовища (як рідин, так і газів), за винятком вимоги його прозорості в діапазоні довжин хвиль, що випромінюються лазерами.

Крім того, лазерні витратоміри використовують при вимірі витрат агресивних, високо- і низькотемпературних (криогенних) рідин і газів.

Оптичні витратоміри переважно використовуються в труба малих діаметрів.

1.3 Електромагнітний витратомір

Електромагнітний витратомір (дивитись на рис.19) — витратомір, принцип дії якого побудований на явищі електромагнітної індукції, згідно з яким при протіканні електропровідного середовища (наприклад, вода — середовище з іонною провідністю, провідник другого роду) у магнітному полі, у ньому індукується електрорушійна сила (ЕРС) E , що пропорційна до середньої швидкості середовища V та індукції B магнітного поля [17]:

$$E = kBVl,$$

де k — безрозмірний коефіцієнт, що визначається геометричними і конструктивними параметрами первинного перетворювача (давача);

l — відстань між електродами, зазвичай при діаметрально протилежному розміщенні відповідає внутрішньому діаметру труби ($l = D_y$).



Рис.19 Електромагнітний витратомір фірми “Endress+Hauser”

Принцип роботи

Принципова схема витратоміра електромагнітного типу показана на рис. 20. У стінки патрубку діаметрально протилежно в одному поперечному перерізі введені електроди. До електродів підключено високочутливий електровимірювальний прилад, шкала якого проградуйована в одиницях швидкості або одиницях витрати. Патрубок, що вмонтований у трубопровід, по якому рухається електромагнітна рідина розміщений у магнітному полі, що створюється котушками індуктивності (індукторами) [18].

Патрубок витратоміра виготовляють з електроізоляційного матеріалу: фторопласту, поліетилену, ебоніту, гуми та інших матеріалів в залежності від властивостей вимірюваної рідини.

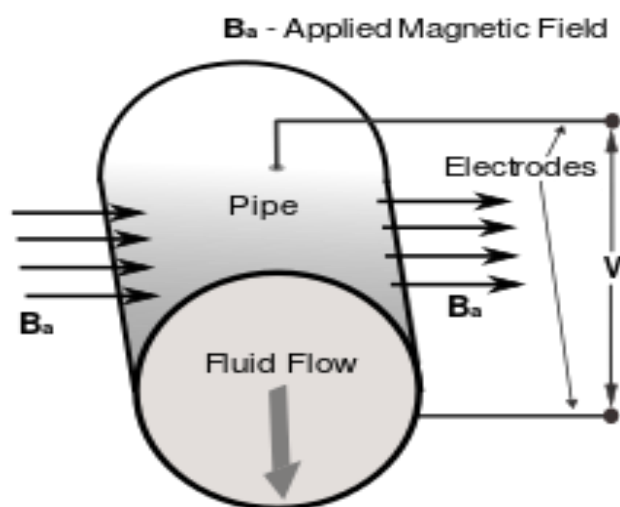


Рис.20 Принципова схема електромагнітного витратоміра

Витратоміри із сталим магнітним полем

Відомо, що у рухомому провіднику, що перетинає силові лінії постійного магнітного поля, індукується електрорушійна сила, величина якої описується наведеною вище формулою.

Врахувавши, що $l = D_y$ і виразивши швидкість через об'ємну витрату для трубопроводу круглого перерізу:

$$E = k \frac{4BQ}{\pi D_y} \quad (5)$$

З цієї формули випливає, що при однорідному магнітному полі ЕРС прямо пропорційна об'ємній витраті.

Отже, електромагнітний витратомір є по суті генератором, у якому провідником, що рухається в магнітному полі, служить електропровідна рідина. Провідність рідини повинна бути не нижчою за $10^{-5} \dots 10^{-6}$ См/м і не вищою за 10 См/м.

Основні і суттєві недоліки електромагнітних витратомірів із сталим магнітним полем: це виникнення на електродах гальванічної ЕРС та ЕРС

поляризації, що вносять значні похибки у значення ЕРС на електродах. У зв'язку з цим витратоміри із сталим магнітним полем використовують при вимірюваннях витрат рідких металів та пульсуючих потоків, коли поляризація не встигає зробити суттєвого впливу [18].

Витратомір із змінним магнітним полем

У випадку змінного магнітного поля, якщо воно змінюється з частотою f , то ЕРС для трубопроводів круглого перерізу описується рівнянням

$$E = k \frac{4BQ}{\pi D_y} B_{max} \sin \omega t. \quad (6)$$

де: B_{max} — амплітудне значення магнітної індукції;

$\omega = 2\pi f$ — циклічна частота.

При змінному магнітному полі електрохімічні процеси роблять менший вплив, ніж при постійному. Для боротьби із завадами від зовнішніх електричних ланцюгів застосовують екранування, а для виключення індукційної похибки використовують дві пари індукторів магнітні поля яких протилежно спрямовані, що приводить до компенсації додаткової ЕРС взаємоіндукції.

Електромагнітні витратоміри мають низку переваг:

- майже повна безінерційність приладу, що дуже важливо для вимірювання витрат, що швидко змінюються при використанні їх у складі систем автоматичного регулювання;
- на результат вимірювань не впливає наявність завислих часток у рідині і бульбашок газу;
- покази витратоміра не залежать від властивостей контрольованої рідини (в'язкості, густини) і характеру потоку (ламінальний, турбулентний);

- при відповідному підборі матеріалу із застосуванням антикорозійного та інших покриттів електромагнітні витратоміри можна застосовувати для вимірювання витрати агресивних рідин, а також рідин і паст з абразивними властивостями;
- на основі лінійної залежності наведеної ЕРС від витрати шкала приладу є лінійною;
- цим витратомірам властивий достатньо широкий діапазон вимірювання витрат;
- перетворювачі електромагнітних витратомірів не мають рухомих елементів та звужень.

До недоліків електромагнітних витратомірів слід віднести необхідність компенсації завад, що виникають при змінному полі у колі електродів, а також неможливість вимірювання витрат газів і рідин з малою електропровідністю (спирти, мастила, бензин та інші легкі нафтопродукти). Неприпустимо застосовувати електромагнітні витратоміри поблизу електросилових пристроїв, які утворюють сильні електромагнітні поля, а також для потоків рідини із завислими феромагнітним частками [19].

Через складність підсилення сталих напруг витратоміри з постійним магнітним полем використовують дуже рідко.

1.4 Міткові витратоміри

Міткові витратоміри — витратоміри, принцип роботи яких базується на виміру часу переміщення якоїсь характерної частини (мітки) потоку на контрольній ділянці шляху.

Класифікація

Мітка у потоці створюється спеціально певним методом, котрий і обумовлює конструкцію пристрою для створення мітки та детектування проходження нею контрольної ділянки. Мітки бувають:

- радіоактивні;
- фізико-хімічні;
- іонізаційні;
- теплові;
- оптичні;
- електромагнітні;
- ядерно-магнітно-резонансні (ЯМР)

Радіоактивні, фізико-хімічні та оптичні методи передбачають введення в потік сторонніх речовин-індикаторів, в інших випадках мітка створюється дистанційно.

Міткові витратоміри конструктивно можуть виконуватись з одним або двома детекторами. У першому варіанті контрольною відстанню L є відстань від місця введення мітки до детектора, у другому — відстань між детекторами. Швидкість руху мітки розраховується:

$$V = \frac{L}{\Delta\tau}, \quad (7)$$

де Δt — час подолання міткою відстані L .

Використання

Міткові витратоміри — це прилади, переважно, дискретної дії, тому їх використовують для лабораторних та дослідницьких цілей, а також при повірці та градуюванні витратомірів інших типів.

Метрологічні характеристики

Похибка вимірювання витрати для міткових витратомірів може становити від 0,1...0,2% до 2...3% у залежності від виду мітки, апаратури, що використовується та відповідності швидкості руху мітки до середньої швидкості потоку.

Довжина контрольної ділянки може становити від декількох міліметрів до декількох кілометрів. Вибір її довжини залежить від фізичної природи мітки (часу її існування), а також, від необхідної точності та швидкодії [19].

1.5 Вимоги до ультразвукового витратоміра

Витратоміри-лічильники рідини ультразвукові багатопроменеві призначені для вимірювання витрати та об'єму різних рідин з вмістом твердих і газоподібних речовин не більше 3% від обсягу, максимальної швидкості потоку не більше 12 м/с, числом Рейнольдса не нижче $Re\ 4000$, тиском 2,5 МПа і температура від 1 до 150 °С, що протікає по чотирьом металевим напірним трубопроводами діаметром від 15 до 1800 мм (можливе використання витратомірів на одному трубопроводі - з одним каналом вимірювання).

До складу витратомірів входять:

- до чотирьох первинних ультразвукових перетворювачів витрати (далі - УПР) з Встановлені п'єзоелектричними перетворювачами (далі - ПЕП);
- обчислювач витрати - електронний блок (далі - ЕБ);
- комплект сполучних радіочастотних кабелів (далі - кабель РК50) довжиною не більше 500 м.

Витратоміри відносяться до програмованим методи визначення. Робочі умови експлуатації ЕБ:

- температура навколишнього середовища від 5 до + 50 ° С;
- відносна вологість повітря (при температурі 35 ° С) до 80%;
- стійкий до впливу синусоїдальних вібрацій в діапазоні від 10 до 55Гц з амплітудою зміщення 0,35 мм.

Робочі умови експлуатації УПР:

- температура вимірюваного середовища, ° С від 1 до + 150 ° С;
- температура навколишнього середовища від -40 до + 65 ° С;
- відносна вологість повітря (при температурі 35 ° С) не більше 98%;
- стійкий до впливу синусоїдальних вібрацій в діапазоні від 10 до 55 Гц з амплітудою зміщення 0,35 мм.

За ступенем захищеності від проникнення всередину твердих тіл і води ЕБ витратомірів має захищене виконання по групі IP65, перетворювач УПР - по групі IP65.

Витратоміри відносяться до відновлюваних, ремонтваних і багатофункціонального начальним виробам. Режим роботи витратомірів - безперервний.

Параметри вимірюваного середовища:

- температура від +10 С до + 150 0С;
- тиск від 0,1 до 2,5 МПа.

1.6 Режими роботи

1. За способом передачі і представлення вимірювальної інформації встановлюються два режими - місцевий і дистанційний.

У місцевому режимі витратоміри здійснюють вимірювання і з ініціативи користувача відображають на індикаторі ЕБ наступні параметри:

- витрата рідини від одного до чотирьох напірних трубопроводів м³ / год;
- обсяг рідини наростаючим підсумком по кожному трубопроводу м³;
- номер версії вбудованого в ЕБ програмного забезпечення;
- контрольні суми параметрів і програмного забезпечення ЕБ;
- календарні дані;
- час роботи витратомірів в режимі вимірювання, окремо по кожному трубопроводу;
- час роботи ЕБ при подачі живлення.

Для відображення значень зазначених величин відведено 32 знакомісця текстового індикатор. Індикація чисельних значень здійснюється в форматі з плаваючою комою.

Витратоміри розраховують годинні, добові і місячні значення обсягу, часу роботи і архівують зазначену інформацію в електронній пам'яті.

Глибина архівування часових архівних параметрів не менше 1488 годин, добових - не менше 366 днів. Час зберігання архівної інформації в знеструмленому стані не менше 10 років.

За запитом користувача витратоміри повинні відображати архівні відомості на тестів індикаторі.

Для призначення нового звітного періоду передбачена можливість обнуління накопичених і архівних даних органами нагляду за допомогою кодового слова, введенного в режим введення поточного пароля.

2. У дистанційному режимі здійснюється:

					МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		49

- виведення вимірювальної інформації по фізичному інтерфейсу RS-232 / RS-485 на електронно-обчислювальну машину (ЕОМ);
- виведення частото-імпульсного сигналу 0 - 1000 Гц, пропорційного витраті;
- виведення аналогового сигналу постійного струму 4-20 мА, пропорційного витраті з- міряють середовища (для витратомірів з аналоговим вихідним сигналом).

3. Витратоміри мають можливість підключення до ЕОМ за допомогою інтерфейсу RS-485 з групами витратомірів (до 32 шт.), Утворюючи локальну інформаційну мережу. Дистанційний інформаційний обмін з витратомірами в такому випадку реалізується за допомогою програмного забезпечення (далі ПЗ) верхнього рівня з вбудованою підтримкою стандартного протоколу ModBus RTU.

4. Втрати тиску, в МПа, на максимальній витраті не перевищують:

- для перетворювачів УПР Ду 15-25 0,035;
- для перетворювачів УПР Ду 32-1800 0,010.

5. Витратоміри забезпечують наступні режими робіт: а) режим "Робота"; б) режим "Програмування".

6. При включенні в мережу витратоміри встановлюються в режим "Робота", в якому здійснюються вимір і зчитування вимірювальної інформації обслуговуючим персоналом, а також перегляд архівних параметрів і діагностичної інформації.

7. Режим "Програмування" використовується при проведенні первинної та періодиче- ських перевірок, настройки ЕБ перед пуском витратомірів в роботу на місці експлуатації. В установление режиму "Програмування" має здійснюватися за допомогою правильно введен- ного пароля. Число можливих числових комбінацій пароля - 1 000 000. Витратоміри повинні надходити з виробництва з нульовим паролем 000 000. Правильно введений пароль відкриває список доступних параметрів для гортання.

8. Доступ до редагування і збереження чисельного значення

					МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

настрочного параметра здійснюється клавішею "вхід" при з'єднаних перемичкою контактів Х6.3 і Х.6.4, доступ до яких обмежується пломбованого верхньою кришкою ЕБ.

9. У режимі "Програмування" відповідно до Додатку А встановлюються і зберігаються коефіцієнти настройки ЕБ, оновлюється пароль.

10. Живлення витратомірів здійснюється вторинним джерелом живлення постійно- го струму 24В (далі - ІП), підключеним до мережі змінного струму напругою в діапазоні від 187 до 242 і частотою (50 ± 1) Гц. Споживана витратомірами потужність при номінальній напрузі мережі не більше 5 Вт.

11. Витратоміри мають частотно-імпульсний вихід зі зміною частоти следова- ня імпульсів від 0 до 1000 Гц, пропорційною витраті рідини, і амплітудою вихідних імпульсів 4,8 В на навантаженні не менше 1 кОм. Виконання витратомірів з додатковим аналоговим вихідним сигналом постійного струму 4-20 мА на навантаженні не більше 400 Ом, що змінюються пропорційно рас ходу вимірюваного середовища.

12. Межа допустимої відносно похибки витрати не перевищують залежно від витрат коштів значень, зазначено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

1. Однопроменеві витратоміри при врізці однієї пари ПЕП в діаметральній або хордальній площині.				
Діаметр УПР, мм	Діапазон вимірювання витрат и	Межі відносної похибки,%, при вимірі:		
		Витрати (обсягу) за індикаторо м	Витрати (обсягу) по частотно імпульсн-му виходу	Витрати по то- ковому виходу
15-25	I	($\pm 1,0$)	($\pm 1,0$)	($\pm 1,7$)
	II	($\pm 1,5$)	($\pm 1,5$)	($\pm 1,7$)
	III			

		(±2,0)	(±2,0)	(±2,2)
32-150	I	±1,5(±1,0)	±1,5(±1,0)	±1,7(±1,2)
	II	±1,5(±1,0)	±1,5(±1,0)	±1,7(±1,2)
	III	±2,0(±2,0)	±2,0(±2,0)	±2,2(±2,2)
≥200	I II III	±1,0	±1,0	±1,2
		±1,5	±1,5	±1,7
		±2,0	±2,0	±2,2
2. Двопроменеві витратоміри при врізки двох пар ПЕП в хордальних площинах.				
50-150	I	±0,75(±0,5)	±0,75(±0,5)	±1,0(±0,75)
	II	±1,0(±0,75)	±1,0(±0,75)	±1,2(±1,0)
	III	±2,0(±2,0)	±2,0(±2,0)	±2,2(±2,2)
≥200	I II III	±0,75	±0,75	±1,0
		±1,0	±1,0	±1,2
		±2,0	±2,0	±2,2
3. Трьохпроменеві витратоміри при врізки трьох пар ПЕП в діаметральної (один промінь) і хордальної площини (два промені).				
80-150	I	±0,75(±0,4)	±0,75(±0,4)	±1,0(±0,65)
	II	±1,0(±0,75)	±1,0(±0,75)	±1,2(±1,0)
	III	±2,0(±2,0)	±2,0(±2,0)	±2,2(±2,2)
≥200	I II III	±0,6	±0,6	±0,8
		±0,75	±0,75	±1,0
		±1,5	±1,5	±1,7
4. Чотирипромінні витратоміри при врізки чотирьох пар ПЕП в хордальних площинах				
≥200	I II III	±0,5	±0,5	±0,7
		±0,75	±0,75	±1,0
		±1,5	±1,5	±1,7

1.7 Варіанти виконання витратомірів

До складу витратомірів залежно від виконання і кількості каналів (трубопроводів) входять різні елементи.

Для однопроменевих витратомірів: - до чотирьох УПР до встановлених ПЕП; - ЕБ; - кабель РК-50 (дивись рис.21)

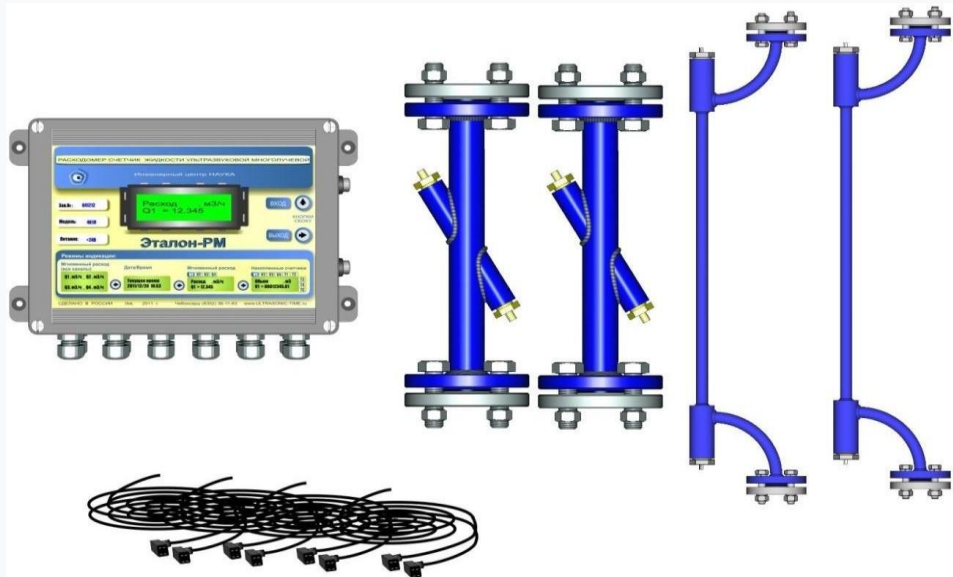


Рис.21 Однопроменевий витратомір

Для двопроменевий витратомірів: - до двох УПР до встановлених ПЕП; - ЕБ; - кабель РК-50 (дивись рис.22)



Рис.22 Двопроменевий витратомір

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

53

Для трипроменевою витратомірів: - один УПР до встановлених ПЕП; - ЕБ; - кабель РК-50 (дивись рис.23)



Рис.23 Трипроменевою витратомірів

Для чотирьохпроміньних витратомірів: - один УПР до встановлених ПЕП; - ЕБ; - кабель РК-50. (дивись рис.24)

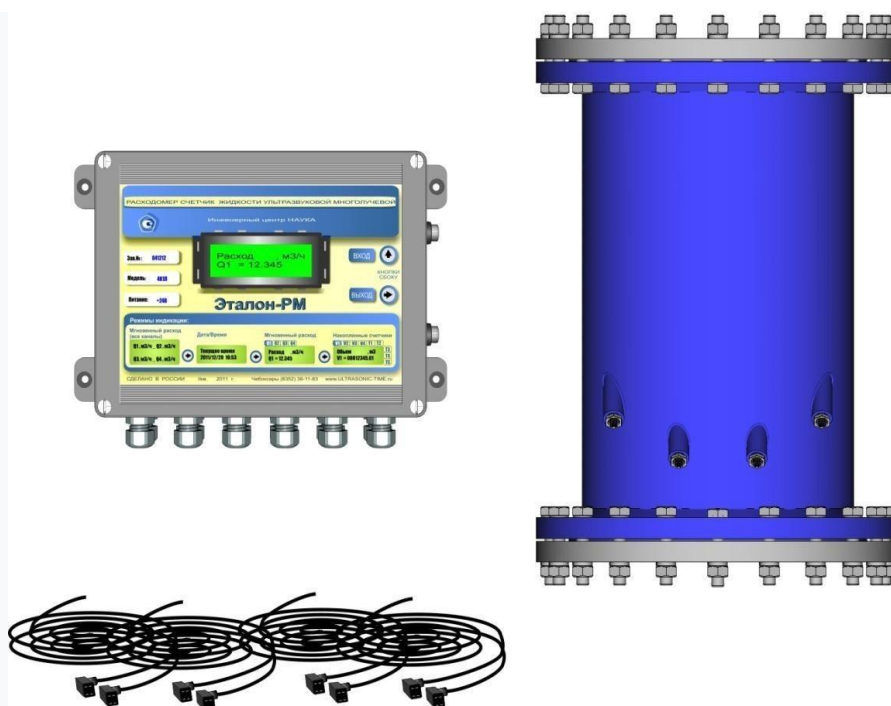


Рис.24 Чотирьохпроміньних витратомір

Для врізних витратомірів: - до чотирьох пар ПЕП з комплектом монтажних частин; - ЕБ; -кабель РК-50. (дивись рис.25)

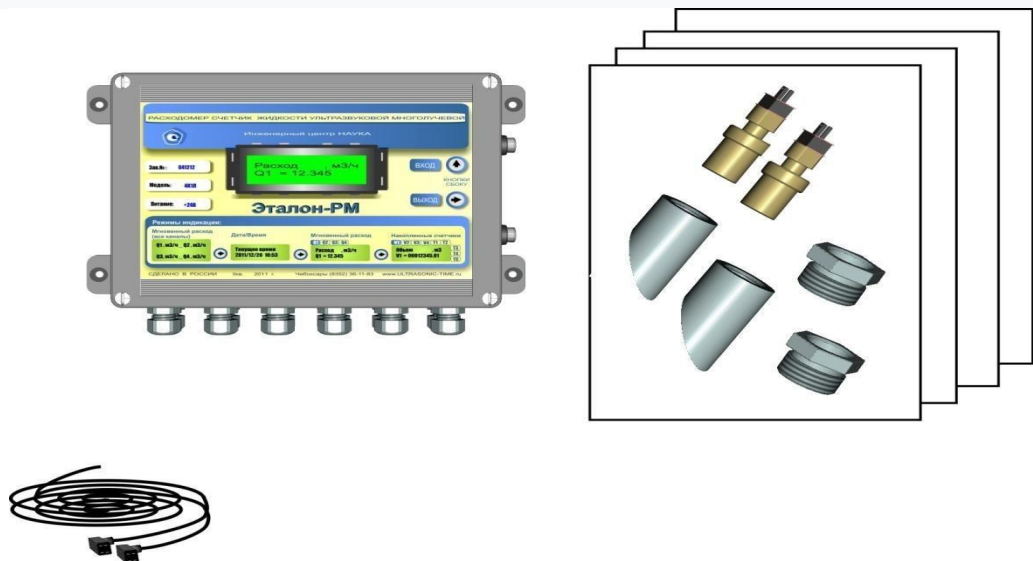


Рис.25 Врізний витратомір

1.8 Пристрій

Склад виконань витратомірів і їх комплектність наведені в розділі 3. Габаритні, установочні розміри ЕБ відповідають рис.26 . Маса ЕБ 2кг.

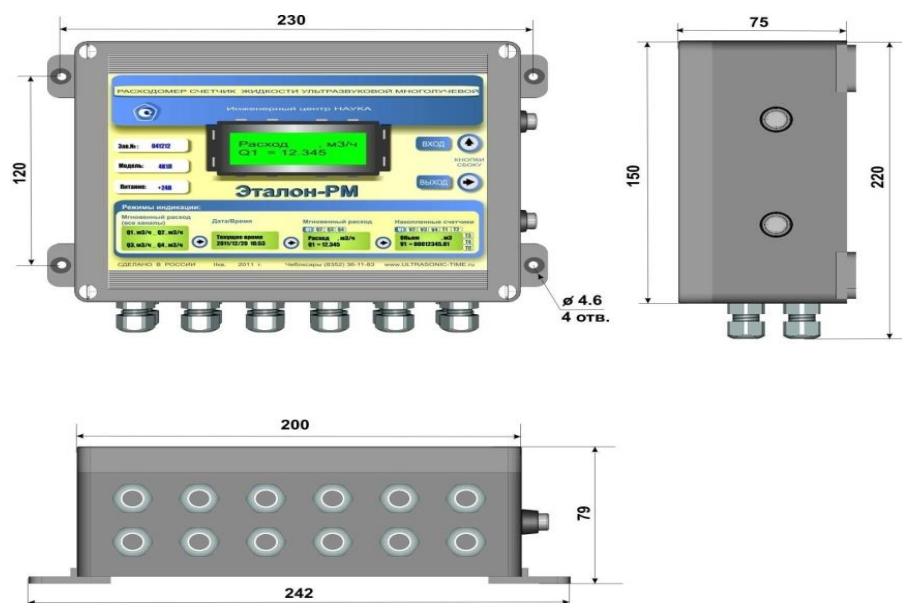


Рис. 26 - Габаритні і настановні розміри ЕБ

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата
------	------	---------	---------	------

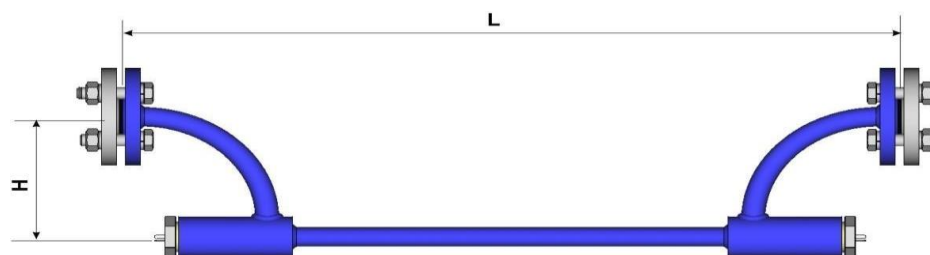
МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

55

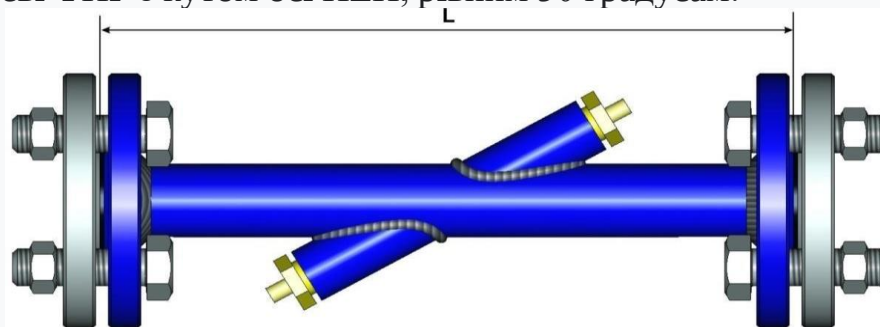
Габаритні, настановні розміри і маси перетворювачів УПР відповідають рисунку 26:

Рис.27 U-образні УПР :



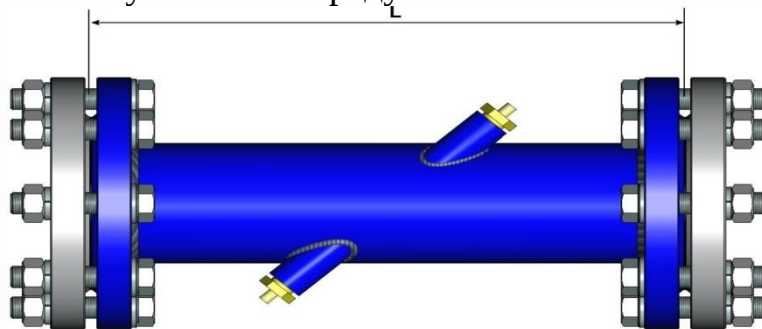
Умовний діаметр Ду, мм	L, мм, не більше	H, мм, не більше	Маса, кг, не більше
15	550	150	12
25	550	160	15

Рис.28 Однопроменеві УПР з кутом осі ПЕП, рівним 30 градусам:



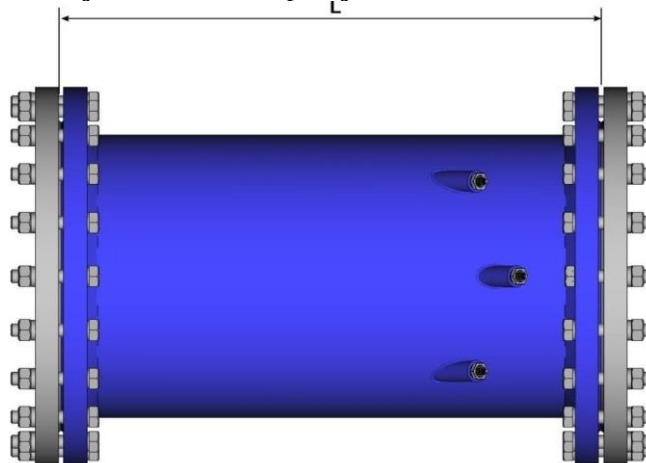
Умовн ий діамет р Ду, мм	L, мм, не біль ше	Масса , кг, не біль ше
32	280	11
50	350	14

Рис.29 Одно променева УНР з кутом осі 45 градусів:



Умовний діаметр Ду, мм	L, мм, не більше	Маса, кг, не більше
80	280	23
100	350	35
150	450	54
200	550	83

Рис.30 Багатопроточна УНР з кутом осі 45 градусів:



Умовний діаметр Ду, мм	L, мм, не більше	Вага, кг, не більше
80	280	24
100	350	36
150	450	56
200	550	85
250	660	115
300	750	155

350	780	170
400	850	230
500	950	370
600	1050	520
800	1450	810
1000	1550	1400
1200	1850	1700

Рис. 31 - Розмір і маса УНР

Маркування проводиться для елементів, встановлених першими по потоку, і має наступні різновиди залежно від порядкового номера ультразвукового променя, утвореного парою датчиків(див. рис. 32):

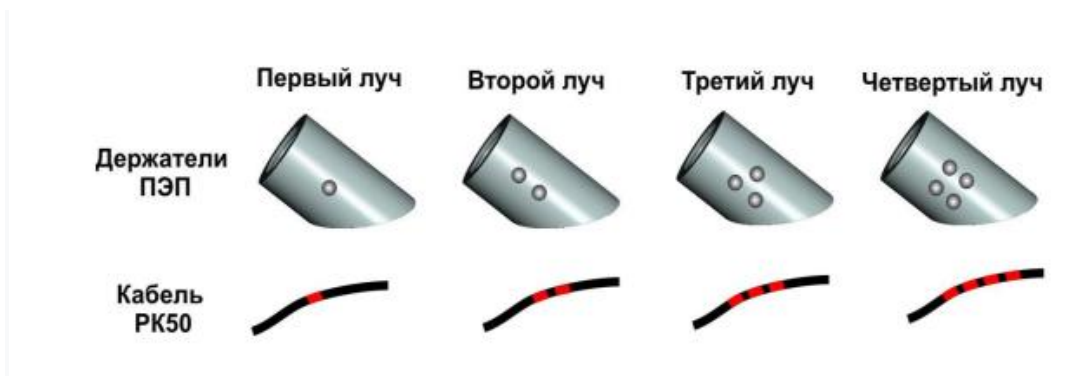


Рис.32 Маркування датчиків

ЕБ виконаний у водонепроникний пластиковий корпус. Корпус, кришка, зародки і роз'єми мають гумові ущільнення.

ЕБ виготовлений на одноразовій основі. Електричні з'єднання між вузлами ЕБ виготовляються з використанням гнучких джгутів.

Конструктивно на ЕБ розташовані:



Рис.33 Электронный блок

- клавіатура з 2 клавіш - "↶" (альтернативне позначення «вхід») і "↷" (альтернативне позначення «вихід»);
- двухстрочный шестнадцатиразрядный текстовый индикатор;
- до 12 гермовводи;
- 4 петлі для здійснення настінного монтажу.

Функції клавіш залежить від режиму роботи ЕБ (перегляд або редагування параметрів) і способу натискання клавіші (одинарне або довгострокове більше 3 сек)

Тривале натискання і "↶" більше 3 сек. імітує натискання клавіші «вхід». Тривале натискання клавіші "↷" більше 3 сек. імітує натискання клавіші «Вихід».

У режимі зміни (редагування) параметра:

Клавіша "↷" переміщує курсор (миготливе поле) на одну позицію вправо і від кінця

рядки до її початку. Клавіша "↶" змінює значення цифри (0 → 1 → 2 ... → 9 → 0), зазначеної курсором.

Кнопка «вхід» здійснює вхід в режим редагування параметра.

Кнопка «вихід» здійснює вихід з режиму редагування з фіксацією введених даних.

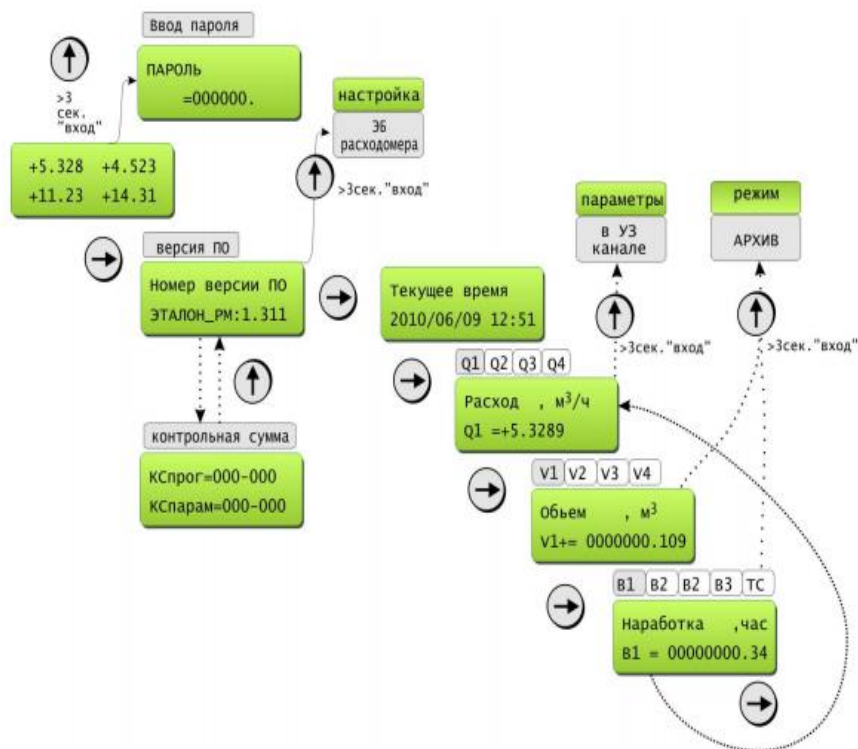


Рис. 34 - Діаграма призначеного для користувача інтерфейсу

Клавіша "↶" здійснює зміну параметрів для індикації. При індикації витрати Q1 (Q2, Q3 або Q4) клавіша «вхід» здійснює вхід в режим перегляду "додаткових параметрів" в ультразвуковому каналі. При індикації параметрів обсягу та часів напруцювання клавіша «вхід» здійснює вхід в режим перегляду архівних даних.

Кнопка «вихід» - вихід з поточного режиму індикації в попередній. Текстовий індикатор містить два рядки по 16 знакомест в кожній і служить для індикації вимірювальної інформації і службових повідомлень.

Для підключення ЕБ до УПР в нижній частині корпусу, розміщені клеми і гермовводи. Номери, позначення і призначення контактів раз'ємів ЕБ представлені на Рис. 35. Номери і розташування контактів раз'ємів в ЕБ представлені на рис.35.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

60

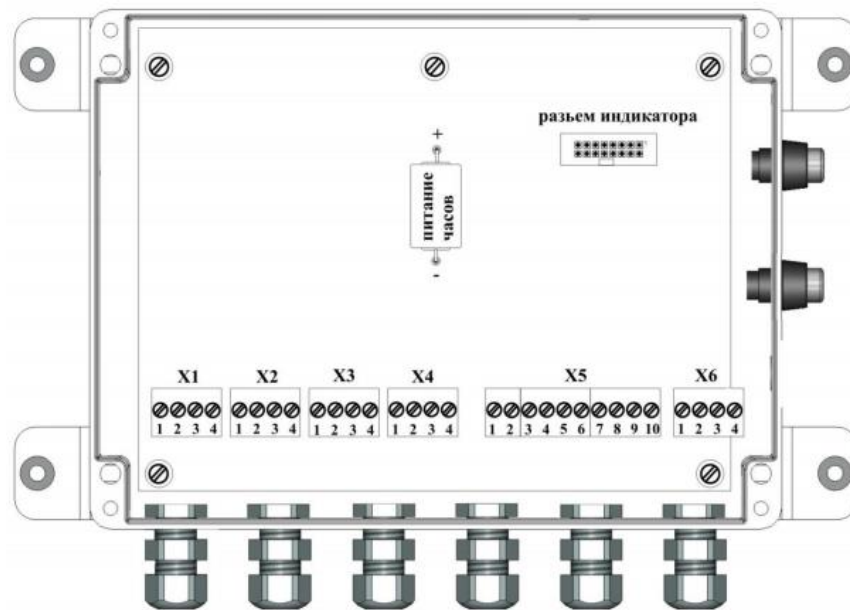


Рис. 35 - Номери і розташування контактів раз'ємів в ЕБ

Висновок до розділу 1

У першому розділі було розглянуто засоби та методи витрати. Розглянуто принцип роботи витратомірів механічної дії, витратоміри на основі хвильових явищ, електромагнітних та міткові. Наведено їхні технічні характеристики, переваги та недоліки. Кожен вимірювальний перетворювач витрати має як переваги так і недоліки. Проведено огляд і аналіз.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ

2.1 Структурна схема

Структурна схема лічильника показана на рис. 36 . Конструктивно УНР складається зі сталеві труби, до кінців якої приварюють два фланца. У середній зоні труби один навпроти одного під певним кутом зварюють два тримачі, які служать для кріплення ПЕП через подушечки через спеціальні гайки. З метою забезпечення правильності електричної установки роз'єднувального кабелю РК-50 та встановлених пирогів-коректорів передбачені маркування тримачів ПЕП та кабельних датчиків.

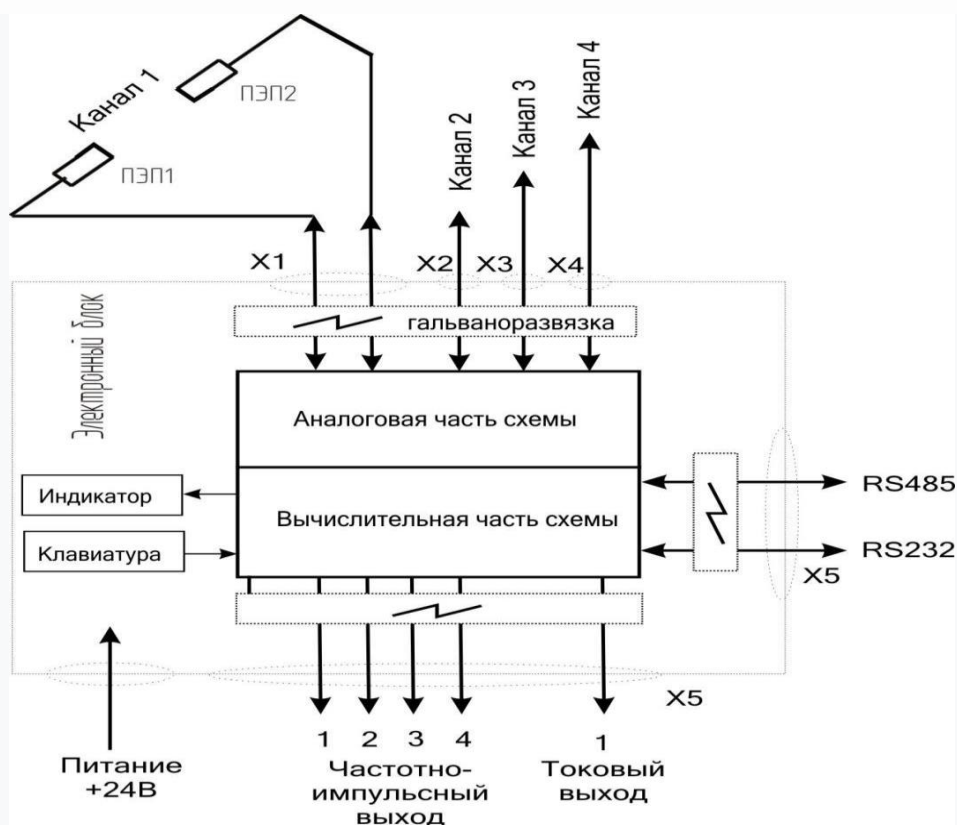


Рис. 36 – Структурна схема лічильника

2.2 Опис конструкції

Перетворювач ультразвукового витратоміра складається з відрізка труби, на якому встановлені п'єзоелементи (дивитись на рис. 37). Діаметр п'єзоелемента знаходиться в межах 5-20 міліметрів, а його товщина вибирається в залежності від частоти. У частотних і час-імпульсних витратомірах для підвищення точності вимірювань використовують частоти 5-20 МГц. Зазвичай в рідинях застосовуються частоти 50 кГц - 2 МГц. У газових середовищах необхідно зменшувати частоти до сотень і десятків КГц, це викликано складністю створення в очах інтенсивних акустичних коливань, особливо високої частоти.

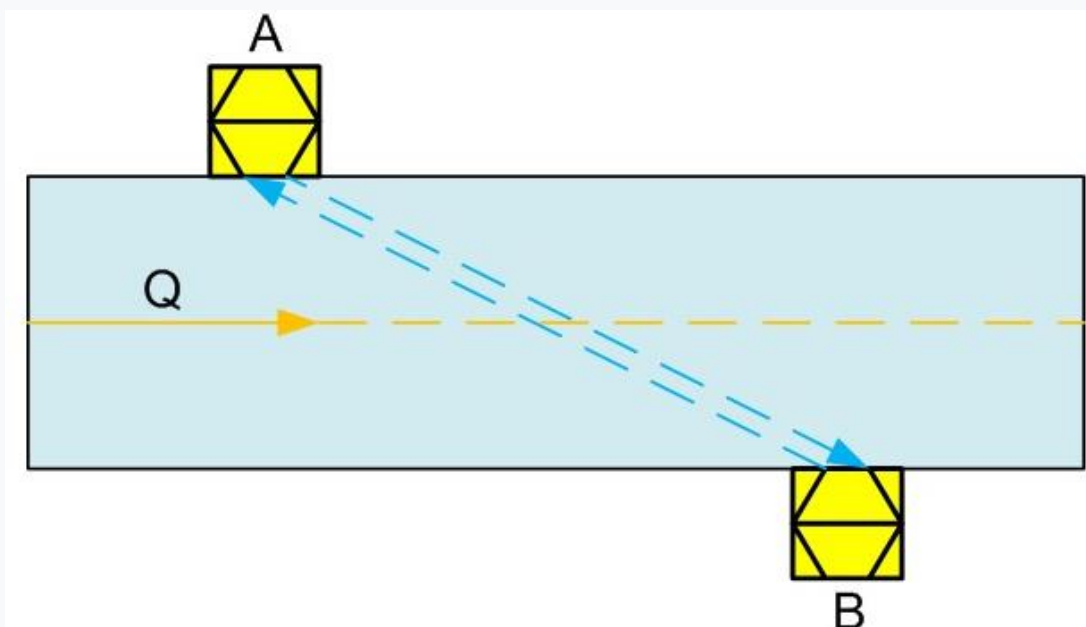


Рис.37 - Пристрій ультразвукового витратоміра

2.3 Принцип роботи

ПЕП 1 і 2, що працюють поперемінно в режимі приймач-випромінювач, пов'язані високочастотним кабелем РК-50 з ЕБ, що забезпечує посилку збуджуючих імпульсів (рис.38) на пьезопреобразователь, що працює в режимі випромінювача, і прийом (посилення і детектування) слабких сигналів від пьезопреобразователя, що працює в режимі приймача.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ

Лист

63

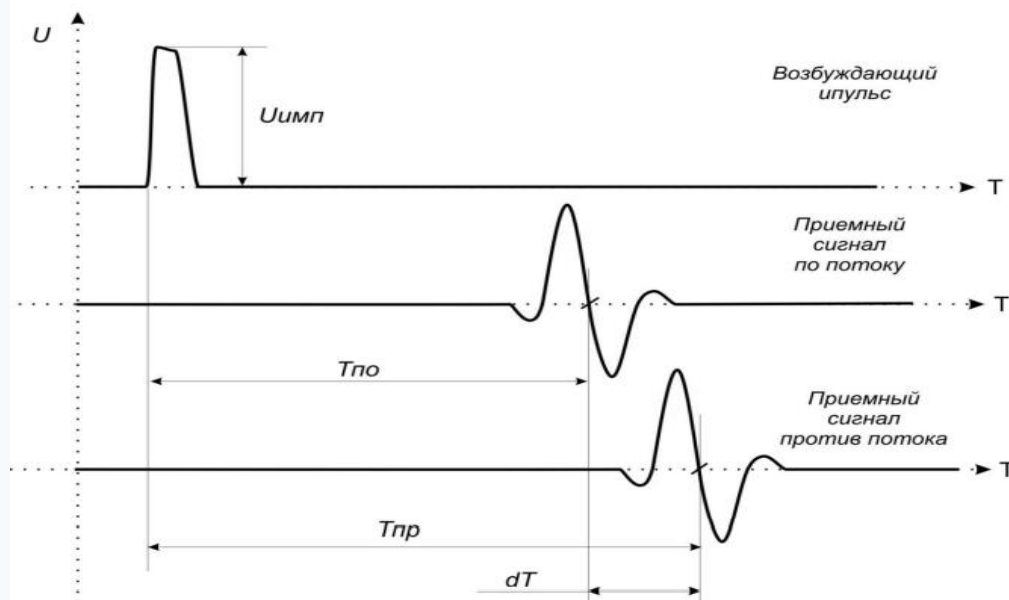


Рис. 38 - Тимчасові діаграми ультразвукових сигналів витратоміра

При русі рідини в трубопроводі відбувається знесення ультразвукової хвилі, який призводить до зміни часу поширення ультразвукового сигналу (далі - УЗС):

по потоку рідини (від ПЕП1 до ПЕП2) час проходження зменшується, а проти потоку (від ПЕП2 до ПЕП1) - зростає (Рис. 39). Різниця часів проходження УЗС через рідину по напрямку і проти напрямку потоку пропорційна швидкості потоку V і, отже, об'ємній витраті Q .

За отриманими сигналами з п'єзоперетворювачів розраховуються: час проходження сигналу від ПЕП1 до ПЕП2, витрата, накопичений обсяг рідини і значення частоти вихідного сигналу, пропорційного витраті. Обчислені таким чином параметри, пропорційні витраті, обсягу і часу, подаються на текстовий дисплей для відображення.

Принцип дії витратомірів пояснюється рис. 38:

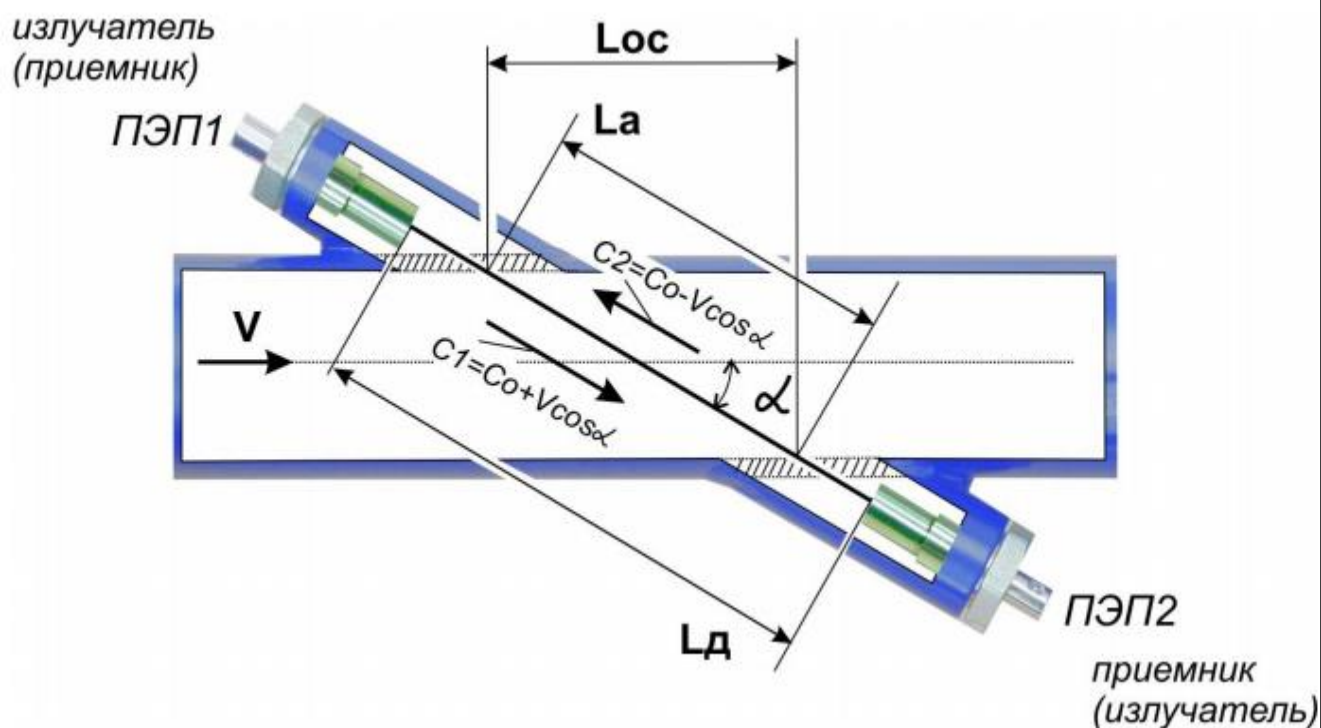


Рис. 39 - Принцип дії витратомірів

Швидкість поширення ультразвукового сигналу від випромінювача до приймача в рідині, що заповнює трубопровід, являє собою суму швидкостей ультразвуку в нерухомій воді і швидкості потоку води V в проекції на даний напрям. Час поширення ультразвукового імпульсу від ПЕП 1 до 2, t_1 , і від ПЕП 2 до 1, t_2 , залежить від швидкості руху води відповідно до формул:

$$t_1 = \frac{L_d - L_a}{C_0} + \frac{L_a}{C_0 + V \cdot \cos \alpha}; \quad (8)$$

$$t_2 = \frac{L_d - L_a}{C_0} + \frac{L_a}{C_0 - V \cdot \cos \alpha}; \quad (9)$$

де t_1, t_2 - час поширення ультразвукового імпульсу по потоку і проти потоку, с;

L_d - відстань між мембранами п'єзоперетворювачів, мм;

L_a - довжина активної частини акустичного каналу, мм;

C_0 - швидкість ультразвуку в нерухомій воді, м / с;

V - швидкість руху рідини в УПР, м / с;

α - кут між осями трубопроводу і датчиків ПЕП, °.

У витратомірах використовується метод прямого високоточного вимірювання часу поширення кожного УЗС від одного ПЕП до іншого.

З формул (8) і (9) отримуємо такі формули обчислення:

$$V = \frac{\Delta t \cdot C_0^2}{2 \cdot L_a \cdot \cos \alpha}; \quad (10)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1; \quad (11)$$

$$V = \frac{\Delta t \cdot C_0^2}{2 \cdot L_{oc}}; \quad (12)$$

де Δt - різниця часів поширення УЗС по потоку і проти потоку;

L_{oc} - осьова база акустичного каналу, мм.

З формули (10), множачи середню швидкість потоку V на перетин трубопроводу D , отримуємо значення витрати води Q , що протікає в місці установки п'єзоперетворювачів:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K_k}{4} \cdot \frac{\Delta t \cdot C_0^2}{2 \cdot L_{oc}}, \quad (13)$$

де D - діаметр трубопроводу на місці установки п'єзоперетворювачів, мм;
Кк - коефіцієнт корекції.

Коефіцієнт корекції розраховується і є програмованим параметром.

Гідродинамічний коефіцієнт представляє собою відношення середньої швидкості потоку рідини в трубопроводі до швидкості потоку рідини V, усередненої вздовж ультразвукового променя. Він автоматично обчислюється на основі введених значень шорсткості стінок трубопроводу (для однопроменевих УПР), внутрішнього діаметра трубопроводу, виміряного значення швидкості потоку.

Зміни швидкості розподілу ГАЗ в робочій рідині, пов'язані зі змінами температури, тиску та/або складу рідини через різну довжину акустичного тракту, враховуються в лічильнику шляхом визначення фактичної швидкості ультразвуку, розрахованої за формулою:

$$C_0^2 = \left(\frac{2 \cdot L_d}{t_1 + t_2} \right)^2, \quad (14)$$

Об'єм рідини V за часовий інтервал T визначається за формулою:

$$V = \int_0^T F(t) \cdot dt, \quad (15)$$

Одна пара ПЕП (рис. 40) встановлені в одно променевих метрах.

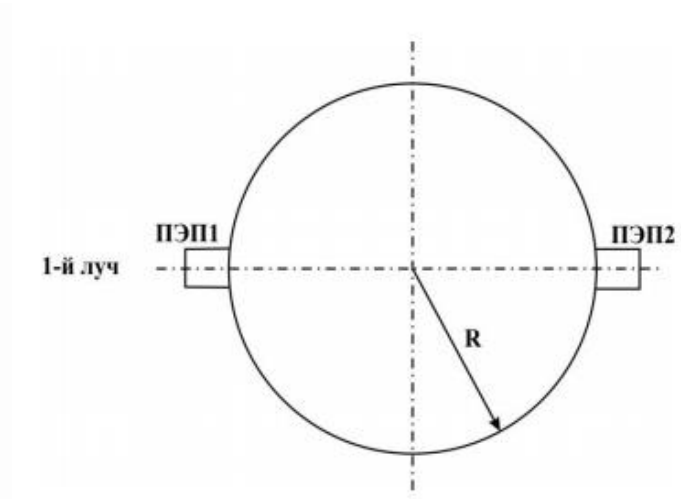


Рис. 40 - Положення пар ПЕП для однотоаврових витратників

При цьому виміряне значення вартості в трубопроводі розраховується за формулою:

$$Q = W_1 \cdot Q_1, \quad (16)$$

Де W_1 - є ваговим фактором для пари ПЕП (промінь);

Q_1 - Витрати, виміряні променем 1, становить 1.

Дві пари ПЕП (рис. 41) встановлюються в двопромених метрах на трубопроводі.

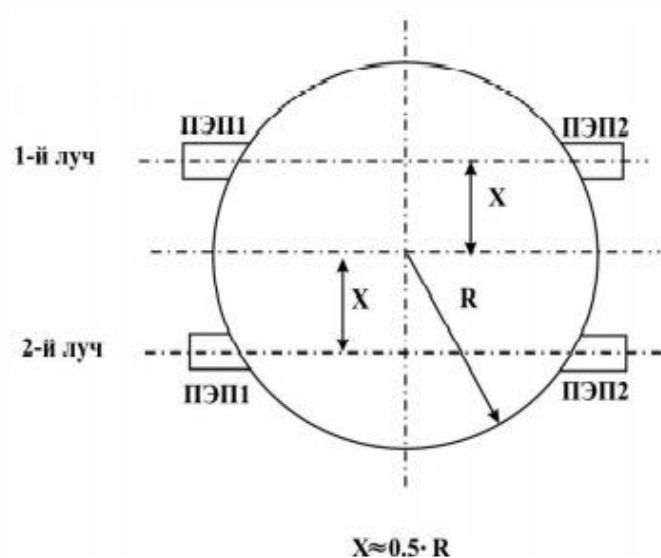


Рис. 41 - Положення пар ПЕП для двопромених лічильників,

При вимірюванні витрат для кожного променя відбувається самостійно, а виміряне значення вартості в трубопроводі розраховується за формулою:

$$Q = W_1 \cdot Q_1 + W_2 \cdot Q_2, \quad (17)$$

Де W_1, W_2 - ваги для кожної пари ПЕП (кожен пучок);

Q_1, Q_2 – витрати, виміряні променем 1 і променем 2 відповідно.

У витратомірах трипроменевою виконання на один трубопровід встановлюються три пари ПЕП (рис. 42).

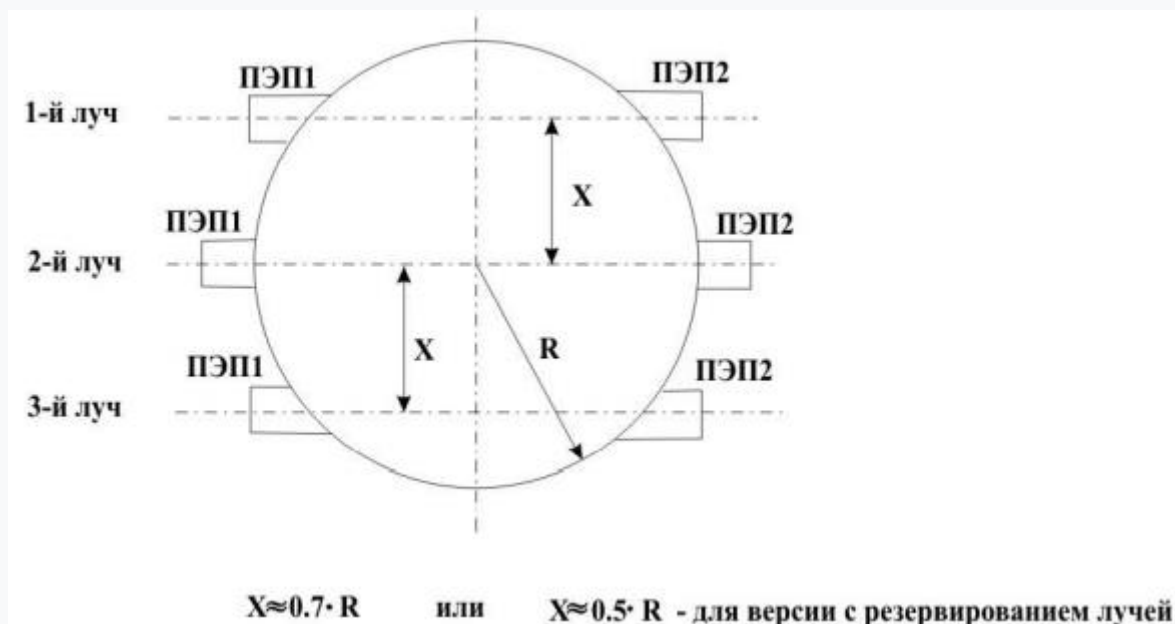


Рис. 42 - Положення пар ПЕП для трипроменевою витратомірів

При цьому вимірювання витрати по кожному променю ведеться незалежно, а виміряне значення витрати в трубопроводі визначається за формулою:

$$Q = W_1 \cdot Q_1 + W_2 \cdot Q_2 + W_3 \cdot Q_3, \quad (18)$$

де W_1, W_2, W_3 - вагові коефіцієнти для кожної пари ПЕП (при розміщенні двох пар ПЕП по хордам і однієї пари по центру).

У витратомірах чотирипромінні виконання на один трубопровід встановлюються чотири пари датчиків (рис. 43).

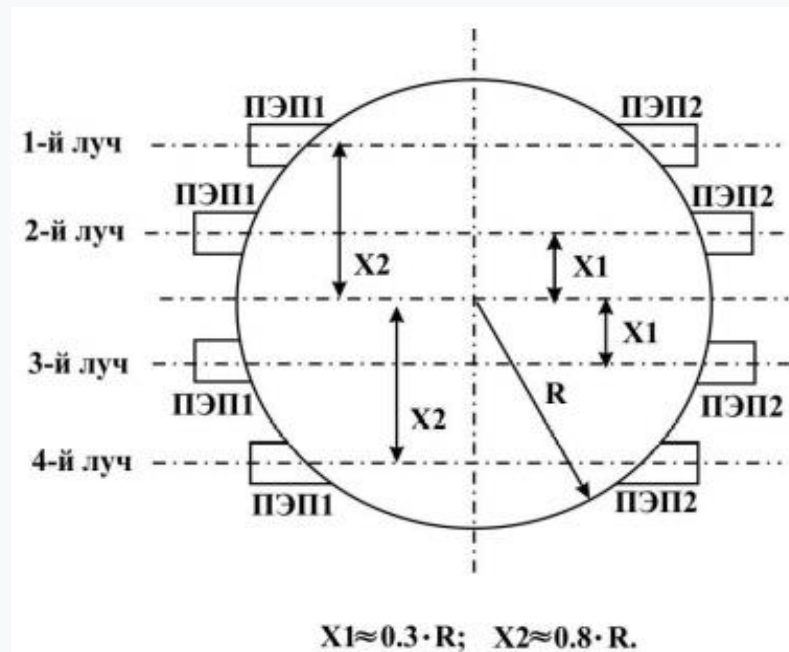


Рис. 43 - Положення пар ПЕП для чотирипромінних витратомірів

При цьому вимірювання витрати по кожному променю ведеться незалежно, а виміряне значення витрати в трубопроводі визначається за формулою:

$$Q = W_1 \cdot Q_1 + W_2 \cdot Q_2 + W_3 \cdot Q_3 + W_4 \cdot Q_4, \quad (19)$$

де W_1, W_4, W_2, W_3 - вагові коефіцієнти для кожної пари ПЕП (при розміщенні ПЕА по хордам відповідно до інструкції з монтажу).

Чисельні значення вагових коефіцієнтів для кожного УЗС каналу розраховується ЕБ автоматично в залежності від введеного в ЕБ геометричного зміщення променя щодо центральної осі УПР.

Значення витрати визначається при виконанні умови:

$$Q_{отс} \leq Q, \quad (20)$$

де $Q_{отс}$ - мінімальне значення витрати (нижнє відсічення), $\text{м}^3/\text{ч}$;

Q - поточне значення витрати, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Рекомендоване значення нижньої відсічення відповідає швидкості потоку $0,035\text{м/с}$.

Якщо виконується умова $Q < Q_{отс}$, то в витратомірах виміряне значення витрати прирівнюється до нуля, припиняються накопичення обсягу і видача імпульсів на універсальному виході, а струм на виході стає рівним нижньому значенню діапазону.

При виконанні умови $Q > Q_{\text{max}}$ вимірювання витрати триває, але значення витрати стає рівним верхньому значенню діапазону Q_{max} .

2.4 Розрахунок впливу теплового режиму роботи п'єзоелектричного датчика на його чутливість [20]

Наявність в п'єзоелектричній кераміці, також як і в кристалах термопружних і електротермічних ефектів призводить до необхідності обліку впливу температури T або інакше кажучи – теплової сторони, на характеристики п'єзодатчиків. Вплив T , як впливає фактори, може бути усунуто за допомогою методів пасивного або активного захисту[20]. Принципово непереборний вплив теплової сторони позначається у встановленні теплового режиму п'єзоелемент датчика. У відомій літературі з п'єзодатчиків немає конкретних чисельних даних про значення поправок на тепловий режим датчиків. Тому проаналізуємо

взаємодію теплової, вхідної та вихідної сторін п'єзодатчика з метою оцінки впливу теплової сторони на його чутливість.

В якості об'єкта дослідження розглянемо найпростішу модель датчика сили-п'єзоелемент, що відчуває деформацію по товщині. Відповідно до теорії оборотних перетворювачів феноменологічний опис властивостей даної моделі датчика з урахуванням теплової сторони може бути здійснено на основі наступної системи рівнянь:

$$\begin{bmatrix} F \\ U \\ \Delta T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V \\ i \\ \dot{S} \end{bmatrix} \quad (21)$$

виражають зв'язок узагальнених сил: механічної сили F , електричної напруги U , зміни ΔT температури перетворювача з узагальненими швидкостями: швидкістю V , струмом i і швидкістю S зміни ентропії, через матрицю узагальнених опорів Z . внаслідок закону взаємності $Z_{ij} = Z_{ji}$.

Вирішуючи систему рівняння (21) можна показати, що чутливість датчика по напрузі в операторному вигляді визначається наступним виразом:

$$\frac{1}{K_F(p)} = \frac{1}{\frac{U(p)}{F(p)}} = \frac{\frac{W_a}{p} \left[\left(\frac{1}{C_a} + pR_{\alpha} \right) \left(\frac{T_0}{C_3} + p \frac{T_0}{x} \right) - B_T^2 \right] + \frac{h_a B_T B_{31}}{p} - B_{31}^2 \left(\frac{1}{pC_a} + R_{\alpha} \right)}{R_{\alpha} \left[h_a \left(\frac{T_0}{C_3} + p \frac{T_0}{x} \right) - B_T B_{31} \right]} - \frac{h_a}{pR_{\alpha}} \quad (22)$$

Тут через p позначений оператор диференціювання за часом; W_a – адіабатична жорсткість п'єзоелемента при розімкненому електричному ланцюзі або, інакше кажучи, жорсткість холостого ходу, визначена при відсутності теплообміну з навколишнім середовищем; C_a – адіабатична ємність механічно затиснутого п'єзоелемента; T_0 – початковий рівень його температури; C_3 – теплоємність холостого ходу затиснутого п'єзоелемента; R_{α} – вхідний опір підсилювача. Коефіцієнт B_T характеризує піроелектричний ефект. Взаємозв'язок механічної і теплової стороною характеризує коефіцієнт B_{31} , який може бути визначений як [20,21]:

$$B_{31} = \frac{\alpha l T_0 W_a}{C_s} \quad (23)$$

де α - температурний коефіцієнт лінійного розширення;

W_i -ізотермічна жорсткість холостого ходу, тобто жорсткість, відповідна нескінченно великій теплопровідності x ;

l -висота п'єзоелемента.

Коефіцієнт h_a є адіабатичною п'єзоелектричною константою, пов'язаної з модулем пружності y , абсолютної діелектричної проникності ϵ і п'єзомодулем d наступним співвідношенням:

$$h_a = \frac{y_{33}^E}{\epsilon_{33}^S} d_{33} = \frac{y_{33}^D}{\epsilon_{33}^T} d_{33} \quad (24)$$

Рівняння (23) описує роботу п'єзоперетворювача при довільному опорі навантаження Z_T на тепловій стороні. Під величиною Z_T можна приймати

$$Z_T = \frac{T_0}{p C_3} + \frac{T_0}{x}.$$

$$\omega \gg \frac{1}{\tau_T} \quad \left(\tau_T = \frac{C_s}{x} \right)$$

Якщо припустити, що $Z_T = \infty$ або, якщо розглядати частоти

теплова постійна часу п'єзоелемента, то, можна показати, що вплив теплової сторони на K_F виключається:

$$K_{Fa}(j\omega) = \frac{h_a}{W_a \left(1 + \frac{1}{j\omega \tau_s} \right) - \frac{h_a^2}{j\omega R_{ax}}} \quad (25)$$

де $\tau_s = R_{вх} C_a$ - електрична постійна часу.

Рівняння (25) можна привести до виду:

$$K_{Fa}(j\omega) = \frac{h_u}{W_a(1 + \frac{1}{j\omega\tau_\varepsilon})} \quad (26)$$

де $\tau_\varepsilon = R_{bx}C_{ac}$;

C_{ac} - адіабатична ємність вільного п'єзoeлемента.

Рівняння (25) і (26) відповідають адіабатичному режиму роботи і на практиці виконуються при вимірювання в звуковому і більш високому діапазоні частот. При проведенні квазістатичних вимірювань можуть спостерігатися

процеси, частота яких $\omega \ll \frac{1}{\tau_T}$ тобто матимуть місце ізотермічний режим роботи датчика. У цьому випадку отримуємо такий вираз для чутливості датчика в ізотермічному режимі:

$$K_{Fu}(j\omega) = \frac{h_u}{W_u(1 + \frac{1}{j\omega R_{ax}C_{uc}})} \quad (27)$$

де індекс "u" позначає, що відповідні параметри визначені в ізотермічному режимі.

Встановимо відношення $\frac{K_{Fa}}{K_{Fu}}$ яке визначає принципово непереборну мультиплікативну похибку датчика

$$\gamma_V = \frac{K_{Fu} - K_{Fa}}{K_{Fu}}$$

У робочому діапазоні частот $\frac{K_{Fa}}{K_{Fu}} = \frac{h_a W_u}{h_u W_a}$.

Виходячи з рівностей: $W_u = W_a - \frac{B_{31}^2 C_3}{T_0}$ и $h_u = h_a - \frac{B_T B_{31} C_3}{T_0}$ отримувати:

$$\frac{K_{Fa}}{K_{Fu}} = \frac{1 - \frac{B_{31}^2 C_3}{T_0 W_a}}{1 - \frac{B_{31} B_T C_3}{T_0 h_a}} = \frac{1 - L}{1 - G} \quad (28)$$

Визначимо складову L . при визначенні L (також як і G) будемо нехтувати різницями між відповідними константами, встановленими в адіабатичному або ізотермічному режимах, при постійному обсязі або тиску, як величинами другого-третього порядку малості в порівнянні з самими L і G .

Тоді виходячи виражаючись C_3 через питому теплоємність $C_{уд}$, отримуємо:

$$L = \frac{\alpha^2 T_0 Y_{33}^D}{C_{уд} \rho} \quad (29)$$

Де ρ - щільність п'єзоматеріалу.

Значення L , розраховане виходячи з усереднених даних для п'єзоелектричних керамік[20,21] становить в середньому $L \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$.

Оскільки для квазістатичних вимірювань широко застосовуються п'єзокварцеві датчики, як мають високостабільні характеристики, то необхідно провести оцінку L і для перетворювача з кварцу.

Для кварца a залежить від орієнтації елемента[20,21]. З урахуванням цього для кімнатної температури (20 °C) отримуємо $L_{хв} = (1,1.3,4) \cdot 10^{-3}$. Необхідно відзначити, що внаслідок принципової залежності $C_{уд}$ від температури T_0 і деякої залежності $a = f(T_0)$ [21] $L_{хв}$ також є функцією T_0 . Дана залежність, розрахована по (23) представлена в таблиці 2.2 .

Як впливає з (28) у виразі для G входить піроелектричний ефект B_T . Однак в літературі відсутні дані про значення B_T в тому вигляді, в якому він входить в систему. Тому введемо в розгляд питома піроелектричний коефіцієнт $B_{уд}$, який можна пов'язати з B_T за допомогою наступного співвідношення:

$$\frac{B_T C_3}{T_0} = \frac{B_{33} l}{\epsilon_{33}^T} \quad (30)$$

де ϵ_{33}^T - абсолютна діелектрична проникність механічно вільного п'єзоелемента.

Враховуючи (30) отримуємо:

$$G = \frac{\alpha T_0 Y_{33}^D B_{33}}{C_{33} \rho h_a \epsilon_{33}^T} = \frac{\alpha T_0 B_{33}}{C_{33} \rho d_{33}} \quad (31)$$

Таблиця 2.2

Залежність поправки L від температури для кварца

T_0, K	150	250	293	400
$L_{кв}, 10^{-3}$	0,70	0,75	1,1	1,2
	—	—	3,4	4,4

Таблиця 2.3

Граничні мультиплікативні похибки, обумовлені впливом теплового режиму п'єзоперетворювача

Матеріал п'єзопреобразователя	$\gamma_U, \%$ (підсилювач напруги)	$\gamma_q, \%$ (підсилювач напруги)
п'єзокераміка	0,05	< 0,04
кварц	0,11	< 0,04
	0,34	0

$$\alpha = 8,0 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$$

$$\alpha_2 = \alpha_3 = 13 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$$

$$Y_{11} = 8,7 \cdot 10^{10} \frac{H}{\text{м}^2}$$

$$Y_{33} = 10,7 \cdot 10^{10} \frac{H}{\text{м}^2}$$

$$C_{y0} = 0,7 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

$$\rho = 2,2 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$T_0 = 293^\circ K$$

$$\bar{\alpha} = 10^{-5} \frac{1}{\text{град}}$$

$$\bar{Y}_{33}^D = 9 \cdot 10^{10} \frac{H}{\text{м}^2}$$

$$\bar{C}_{y0} = 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

$$\bar{\rho} = 7,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\bar{d}_{33} = 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{H}$$

$$B_{y0 \max} = 1,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$$

$$T_0 = 293^\circ K$$

Відомо, що у кварца піроелектричний ефект відсутній. Тому для нього $G = 0$. Для п'єзокераміки за даними [20,21] максимальне значення

$B_{y0 \max} = 1,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$. При цьому з (25) випливає, що $G_{\max} \approx 0,4 \cdot 10^{-3}$. Однак показано [20,21] у цілому ряду п'єзокерамік B_{y0} може бути на порядок і більш менше, ніж $B_{y0 \max}$. Тому при визначенні Y_u складову G для п'єзокерамік, також як і для кварца можна не брати до уваги.

Значення Y_u для п'єзоелементів з п'єзокераміки і кварцу наведені в таблиці 2.2. Там же представлені усереднені значення відповідних констант п'єзокерамік, які були використані при розрахунках.

В даний час при роботі з п'єзоелектричними датчиками широко використовуються підсилювачі заряду. В цьому випадку п'єзодатчик працює практично в режимі короткого замикання на електричній стороні і тому необхідно ввести в розгляд чутливість датчика по заряду $K_{Fq} = d$.

Згідно [20,21] різниця між п'єзомодулями, визначеними в ізотермічному та адіабатичному режимах, становить:

$$d_u - d_a = \frac{\alpha T_0 B_{y0}}{C_V} \quad (32)$$

де $C_V = C_{уд} \cdot \rho$ - теплоємність на одиницю об'єму.

Звідси гранична похибка для чутливості по заряду

$$\gamma_q = \frac{K_{qFu} - K_{qFa}}{K_{qFu}} = \frac{d_u - d_a}{d_u} = \frac{\alpha T_0 B_{y0}}{C_{y0} \rho d_{33}} \quad (33)$$

Рівняння (32) як і слід було очікувати, збігається з (31). Тому все вищесказане щодо G справедливо і для Y_q . Таким чином, при виборі відповідної п'єзокераміки може бути отримана $Y_q \approx 0,04\%$, а для кварца $Y_q = 0$ (Таблиця 2.2), тобто практично похибкою Y_q можна знехтувати.

Оскільки розглянутий преобразователь є основним елементом не тільки для датчика сили, але і для датчиків тиску, прискорення, то висновки, отримані тут, справедливі і для них.

Таким чином, з наведеного аналізу випливає, що при роботі датчиків з підсилювачами напруги гранична мультиплікативна похибка Y_u , обумовлена впливом теплового режиму п'єзоелемента може досягати: для п'єзоелемента з п'єзокераміки близько 0,05%, а для кварца – до 0,3%. В останньому випадку Y_j стає порівнянною з основною похибкою високоточних п'єзоелектричних датчиків. Для виключення Y_u необхідно застосовувати підсилювачі заряду.

Висновок до розділу 2

Розглянуто конструкцію, принцип роботи ультразвукового витратоміра. Складена структурна схема лічильника. Проведено розрахунок п'єзоелемента і було розраховано вплив теплового режиму роботи п'єзоелектричного датчика на його чутливість. А також розраховував час проходження сигналу від ПЕП1 до ПЕП2.

3 СТАРТАП-ПРОЕКТ “КАЛІБРУВАННЯ ВИТРАТОМІРА”

3.1 Опис ідеї проекту

В даному розділі описано метод вдосконалення повірки та калібрування витратоміра, за рахунок врахування відмінностей характеристик робочих середовищ природного газу та повітря.

На сьогодні процес калібрування та повірки лічильників газу є невід’ємною частиною їх роботи. Але так як працюють лічильники за робочого середовища- природний газ, а повіряють і калібрують їх на робочому середовищі- повітря, виникає необхідність розробки повірочного стенду на основі використання комплексного критерію подібності.

Повірочний стенд буде актуальним державних та приватних підприємств, наукових лабораторій, які виконують повірку та калібрування лічильників газу. Ідея проекту полягає в створенні системи, яка виконує повірку чи калібровку за повітря, враховуючи при цьому відмінності робочих середовищ, використовуючи критерії подібності та гідрогазодинамічну теорію.

Побудова морфологічної карти на якій показані варіанти можливих рішень табл3.1.

Таблиця 3.1

Морфологічна карта проекту

Основні параметри	Проміжні рішення		
	1	2	3
Температура	Просте приєднання до наружної стінки труби	Створення ґрундбуксидля герметичного надійного з'єднання	Система вихроструменевих датчиків
Тиск	Приєднання до наружної стінки труби	Залишити датчики тільки в еталонах	Система вихроструменевих датчиків
Герметичність	ФУМ	Льон	Силікон
Передача імпульсів	Датчик імпульсів SENSUS	Датчик імпульсів Овен-Си30	Датчик імпульсів HRI- В
Режими роботи	Ручний	Автономний	Об'єднання ручного і автономного режимів

У таблиці 3.2 наведено ідею та можливі базові ринки, в межах яких можна знайти клієнтів.

Таблиця 3.2

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення системи повірки та калібрування лічильників газу, з використанням робочого середовища – повітря, враховуючи при цьому всі критерії подібності, та підгрунтя гідрогазодинамічної теорії.	Повірка та калібрування лічильників, як для приватних так і для державних підприємств.	Мінімалізація похибки при калібруванні та повірці, автономність, економія часу.
	Використання в лабораторних умовах для дослідження характеристик робочого середовища.	Забезпечення високих умов при дослідженні робочих середовищ, висока герметичність, можливість роботи в різних режимах.

Отже, пропонується нова система, для виконання повірки та калібрування лічильників газу, що забезпечить високу точність, автономність, та мінімалізацію часу, врахувавши при цьому всі коефіцієнти подібності, та визначивши при цьому комплексний критерій подібності.

Далі потрібно проаналізувати переваги ідей потенційних конкурентів:

визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначаємо групу конкурентів, що вже існують на ринку та збираємо інформацію про техніко-економічні показники для власної системи.

Проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаємо показники,

що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

п /	Техніко-	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	Z	S
	економічні характеристики ідеї	Мій проект	Аква-імпульс	Flagma	Flow-analys			
1.	Вартість базової системи	500000 грн	315000 грн.	450000 грн.	295 000 грн.	+	-	-
2.	Автономність	100%	Приблизно 50%	до 70%	20%	-	-	+
4.	Надійність	Надійна (запобігає виникненню аварійних випадків в системі)	Надійна (при виході з ладу якогось з блоків, система працює)	При відповідних умовах	При відповідних умов	-	-	+
5.	Якість датчиків температури, тиску	Висока якість (інтелект. датчики)	Висока якість	Висока якість	Середня якість	-	-	+
6.	Відстеження процесу повірки в режимі онлайн	Можливо	Не можливо	Не можливо	Не можливо	-	-	+
7.	Універсальність (можливість використання в лабораторних умовах)	Можливо	Не можливо	Не можливо	Не можливо	-	-	+

З таблиці видно, що основними перевагами даної системи є: повна автономність, надійність, висока якість датчиків тиску та температури, відстеження процесу повірки чи калібрування онлайн, та можливість універсального застосування в якості лабораторного обладнання.

Єдиним недоліком є вища ціна відносно інших систем, але вона нівелюється високоякісними компонентами та програмним забезпеченням системи

					МД ПІ-91мп.01.000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		81

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 1.4.

Таблиця 3.4

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Створення системи, яка робить повірку та калібрування лічильників газу більш простою, доступною, з меншим використанням природних ресурсів, та високою точністю	Розробка компонентів системи та програмного забезпечення на основі Simulink Ansys	Існуюча технологія	Доступна технологія
		Використання готового програмного забезпечення 3dsmax Flow system	Існуюча технологія	Доступна технологія
		Використання готового програмного забезпечення, використання технології CFX Fluent	Існуюча технологія	Доступна технологія
2	Створення безконтактного знімання інформації з датчиків температури та тиску	Розробка ґрундбукси для датчиків температури, датчики тиску залишити в еталонах	Існуюча технологія	Доступна технологія
		Розробка системи на основі вихрострумових датчиків	Існуюча технологія	Доступна технологія
3	Створення захищеності системи та онлайн відстеження процесу калібрування та повірки	Розробка програмного забезпечення на основі DeviceLock	Існуюча технологія	Доступна технологія
		Розробка програмного забезпечення на основі Fail2ban	Існуюча технологія	Доступна технологія
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: «Розробка компонентів системи та програмного забезпечення на основі Simulink Ansys»				

З таблиці 1.4 наглядно видно, що найкращим варіантом є «Розробка компонентів системи та програмного забезпечення на основі Simulink Ansys».

Це дасть змогу самому налаштувати систему, врахувавши відмінності робочих середовищ, та використати компоненти які підходять системі найкраще.

Також для безконтактної передачі інформації та дотримання високої точності вимірювання найкращим варіантом буде створення ґрундебукси. Для захищеності системи пропонується використовувати Fail2ban так як його легше зв'язати з Simulink побудувавши за допомогою Simulink Ansys нашу систему, можна дослідити її на різність робочих середовищ, вплив зовнішніх та внутрішніх параметрів, налаштувати діапазон похибки та ін.

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Потрібно визначити ринкові можливості проекту, які можна використати під час ринкового впровадження, та загрози які можуть завадити його реалізації.

Дослідження ринку дає змогу бачити поведінку споживачів, зробивши аналіз можливостей, які відкриті для підприємства (вихід на міжнародний ринок, розширення переліку послуг, популяризація), вивчити перспективи розвитку окремих систем конкурентів, динаміку цін на дані продукти.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 3.5)

Таблиця 3.5

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика п/п
1	Кількість головних гравців, од	багато
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	3000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер	відсутні обмежень)
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність міжнародним стандартам: ГОСТ 8.324-2002ГСИ
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

Не дивлячись на те, що конкуренція та ринок цього проекту є не високими, рентабельність залишається високою, це дозволяє зробити висновок, що система

буде конкурентоспроможною, постійно оновлятись та модернізуватись, а державні та приватні підприємства будуть приваблювати дані проекти.

Далі потрібно визначити потенційні групи клієнтів та сформуванати перелік вимог до товару кожної групи (табл.3.6)

Таблиця 3.6

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Проведення перевірки лічильників газу за робочого середовища – повітря, а використання на природному газі з мінімальною похибкою.	Приватні та державні установи, що займаються проведенням перевірки та калібровки лічильників газу, лабораторії які використовують систему для дослідження.	Фактори зовнішнього маркетингового середовища, фінансові можливості, дефіцит необхідних матеріалів, індивідуальність, сприйняття.	Висока якість системи, надійність, герметичність, захищеність, своєчасність виконання роботи

Державні та приватні підприємства будуть зацікавлені в даному проекті, він дозволить зменшити час та зусилля на перевірку чи калібрування лічильників, зменшити похибку різності робочих середовищ. Компоненти системи на даний час найточніші із існуючих, що забезпечить високу точність та надійність.

Після визначення потенційних груп клієнтів проекту, потрібно провести аналіз ринкового середовища: факторів, які загрожують проекту та фактори що прискорюють його розвиток.

Фактори загроз перелічені в таблиці 3.7

Таблиця 3.7

Фактори загроз

п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Посилення конкуренції на ринку.	Зменшення продажу	Наукові дослідження для покращення системи.
2.	Відсутність надійних постачальників високоякісного обладнання.	Зменшення продажу	Пошуки постачальників за межами країни.
3.	Несприятлива державна податкова політика, криза.	Фінансові збитки	Зменшення ціни товару, пошук інвесторів, партнерів.
4.	Економічний фактор	Користувачі не будуть купувати систему	Розширення функцій, заміна компонентів, зниження ціни.
5.	Технічний фактор	Не всі користувачі вміють налаштовувати систему.	Створення онлайн підтримки по налаштуванню, збільшення автономного керування

Основним фактором загроз є економічний фактор, так як для деяких підприємств вона може виявитись занадто дорогою. Також важливу роль грає фактор постачання високоякісного обладнання.

Але також є і певні можливості (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії п/п
1.	Вихід на нові ринки	Збільшення кількості продажів	Підвищення попиту, залучення іноземних інвестицій
2.	Розширення можливостей системи	Сервісне обслуговування, створення нових програм	Підвищення попиту, додатковий прибуток
3.	Можливість розробки власних інноваційних рішень	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту та ціни, пошук партнерів
4.	Популяризація	Збільшення кількості продажів за рахунок реклами	Послуги маркетологів

Якщо система буде зарекомендована як в Україні так і за кордоном, це збільшить її попит, відбудеться залучення закордонних інвесторів.

Далі проведемо аналіз пропозиції. Загальні риси конкуренції на ринку наведено в табл. 3.9

Таблиця 3.9

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Економічне суперництво між суб'єктами економічних процесів, коли жоден з них (компанія, підприємець, споживач, працівник та ін.) не може впливати на загальну ситуацію на ринку або цей вплив є таким незначним, що ним можна знехтувати	Концентрація діяльності підприємства на новизну та якість товару
2. Національна	Між компаніями всередині країни	Варіація об'ємів виробництва, співпраця з компаніями якісніших датчиків
3. За галузевою ознакою Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі	Формування ринкової вартості товару
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Унікальність кожного об'єкту; удосконалення та створення нових функцій
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Цінова. Для значної частки споживачів ціна є визначальною при виборі	Зниження ціни на продукцію, додаткові витрати
6. За інтенсивністю - марочна	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт	Зниження цін на товар; концентрація діяльності на якісну зміну системи;
		закупка якісних приладів, створення власної торгової марки

Як показують риси конкуренції на ринку, дана система є конкурентоспроможною. Для повної переваги над конкурентами необхідно розробити стратегію розвитку на найближчі роки. При формуванні стратегії фірма повинна врахувати фактори, що впливають на інтенсивність конкуренції.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 3.10

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	«Аква-імпульс» «Flagma» «Flow-analys»	Високий бар'єр входження в ринок	Невелика собівартість, менша якість товару	Невелика та велика собівартість (в залежності від комплектації)	Фактори загроз з боку замінників
Висновки	Інтенсивне	Потенційні клієнти є, є можливість виходу на ринок	Ціна, умови співпраці, кількість обладнання	Вартість системи, якість, гарантійний строк	Відсутнє

На основі проведеного аналізу конкуренції (табл 1.10) а також врахувавши ідею проекту, вимоги споживачів (табл. 1.6) та факторів маркетингового середовища (табл. 1.7, 1.8) можна зробити висновок, що дана система не повинна поступатись в ціні конкурентам, щоб збільшити попит користувачів на неї.

Основними умовами забезпечення конкурентоспроможності є: застосування наукового підходу для покращення системи, збільшення точності, та зменшення похибки різності робочих середовищ, розгляд взаємозв'язку управління процесами на всіх стадіях життєвого циклу; формування системи постійної конкурентоспроможності різних об'єктів.

З вище зробленого аналізу визначено фактори конкурентоспроможності, які показано в (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять п/п фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Використання високотехнологічного обладнання	Якість продукції, точність параметрів тестування, висока достовірність отриманих результатів, самодіагностика приладів
2	Наявність кваліфікованих співробітників.	Достовірність отриманих результатів, гарантія правильної роботи обладнання
3	Технічне обслуговування	Оновлення системи та комплектації
4	Покращення проведення повірки та калібрування	Система контролю похибки різності середовищ, контроль температури, тиску, герметичності.

Для забезпечення високої конкурентоспроможності потрібно приділити велику увагу якості обладнання та окремим компонентам системи, які забезпечать надійність роботи, самодіагностику та приділити увагу автономності, зробити її простою у використанні, приділити велику увагу програмному забезпеченню та простоті інтерфейсу.

Таблиця 3.12

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «DUST_METER»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER_Kompany						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Висока якість і своєчасність виконання роботи	20							+
2	Велика кількість постачальників	15						+	
3	Індивідуальний підхід	20							+
4	Оптимальне співвідношення ціни і якості	10			+				

З таблиць 3.11 та 3.12 видно, що фактори які впливають на конкурентоспроможність суттєві і мають великий позитивний внесок при впровадженні нових датчиків, та програмного забезпечення, що полегшить повірку та калібрування. Головною перевагою є висока якість системи та можливість оновлення компонентів на протязі всього терміну використання.

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Високотехнологічне обладнання; 2. Кваліфіковані співробітники; 3. Збереження природних ресурсів; 4. Простота заміни компонентів; 5. Технічне обслуговування.	Слабкі сторони: 1. Високий рівень цін компонентів системи; 2. Система потребує певних знань користувачів.
Можливості: 1. Розширення переліку послуг; 2. Вихід на нові ринки; 3. Розробки власних інноваційних рішень; 4. Покращення характеристик системи; 5. Популяризація.	Загрози: 1. Посилення конкуренції на ринку; 2. Несприятлива державно-податкова політика; 3. Криза 4. Відсутність надійних постачальників високоякісного обладнання; 5. Необізнаність користувачів.

Для підтримання конкурентоспроможності потрібно передбачити несприятливі умови, такі як поява нових, більш якісних систем та компонентів, нестабільність ринку, та ін... Також потрібно збільшувати попит за рахунок залучення закордонних інвесторів, реклами, постійного удосконалення системи та знаходження нових більш простих рішень.

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап проекту на ринок та час його реалізації, з врахуванням потенційних конкурентів, що можуть бути введені на ринок.

Таблиця 3.14

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
	Пошук інвестицій	Середня	2-6 місяців
	Збільшення ринку збуту завдяки рекламі	Висока	1-2 роки
	Зменшення ціни на продукт. Акції	Висока	1-3 роки
	Вихід на міжнародний ринок	Висока	3-4 роки

Провівши аналіз ринкового впровадження системи, робимо висновок, що найкращим виходом буде вихід на міжнародний ринок за рахунок постійного оновлення системи та високу якість її складових.

3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 3.15

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Приватні підприємства	готові	середній	Висока	+
2.	Державні підприємства			Висока	+
3.	Лабораторії			Середня	+
Які цільові групи обрано: Приватні та державні підприємства.					

Після аналізу цільових груп обрано основними споживачами приватні та державні установи, що займаються повіркою та калібруванням лічильників газу. На основі аналізу обрано стратегію диференційованого маркетингу.

Для високого попиту на продукт в даному сегменті потрібно сформувати стратегію розвитку.

Таблиця 3.16

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Залучення споживачів	Орієнтир не тільки на приватні і державні фірми, а і на лабораторії. Реклама та створення стійкого попиту на товар; якісне обладнання.	Якісне обладнання; Оптимальне співвідношення ціна-якість.	Удосконалення

Потрібно залучати не тільки приватні та державні фірми, що займаються повіркою та калібруванням, а і невеликі лабораторії. Постачання якісних компонентів та удосконалення системи є основними для підтримки конкуренції на ринку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.17).

Таблиця 3.17

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Продукт не є «першопрохідцем» на ринку	Компанія націлена на всіх клієнтів	Компанія провела аналіз всіх створених систем і створює свою унікальну, не схожу на інших систему.	Наступальна війна

Не зважаючи на те, що розмір ринкового сегменту є не досить великим, він достатньо прибутковий, стратегію конкурентною поведінки обрано « наступальна війна» . Основним при цьому повинно бути завоювання довіри споживача. Це можна зробити за рахунок удосконалення системи, підвищення її точності, надійності, автономності, спрощення інтерфейсу.

На основі вимог споживача формуємо стратегію позиціонування табл. 3.18

Таблиця 3.18

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Висока якість, захищеність; вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Удосконалення	Автономність системи, можливість стеження за роботою в онлайн режимі	Висока якість, своєчасне виконання, індивідуальний підхід, сервісне обслуговування

На основі визначених базової стратегії розвитку (табл. 3.18), конкурентної поведінки (табл. 3.17) та позиціонування (табл. 3.16), сформовано напрям роботи стартап-компанії на ринку, що полягає у постійному розвитку та розробці нових складових системи.

3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 3.19 підсумовано результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 3.19

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити) ^{n/n}
1	Контроль працездатності контроль параметрів тиску та датчиків	Самодіагностика	оповіщення про можливий збій в роботі тієї чи іншої частини системи; системи та температури
2	Захист від зламу програмного забезпечення	Система блокування та заміни паролю	Система розпізнає несанкціонований вхід в програму, блокує процес, проводить заміну пароля то логіна, надсилає повідомлення на сервер.
3	Якість	Якісні датчики та комплектуючі	Закупівля лише якісних комплектуючих
4	Висока точність роботи, низька похибка	Нова функція використання критерію гідрогазодинаміки	Використання комплексного критерію дозволить суттєво зменшити похибку середовищ, та підвищити точність ротіт

Знаходження ключових переваг товару є досить важливим етапом при розробці стартапу. Це дозволяє задовольнити потреби клієнтів та підвищити конкурентоспроможність. Тому вигідними сторонами стартапу обрано: функцію використання критерію гідрогазодинаміки, якісні датчики та комплектуючі.

Таблиця 3.20

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Точне проведення повірки та калібрування за робочого середовища повітря і використання потім на природному газі		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Комп'ютерна система	Нм	
	2. Датчики	М	
	3. Можливість онлайн моніторингу стану системи		
	4. Інтерфейс		
III. Товар із підкріпленням	Якість: технічний регламент , результати тестування системи, патент		
	Пакування: кожен датчик упаковано в окрему коробку		
	Марка: flow-simulation		
	До продажу: система повірки та калібрування flow-simulation		
Потенційний товар	Після продажу: оновлення системи з часом		
	Потенційний товар буде захищено від копіювання за рахунок логотипу, введення комерційної таємниці на систему (система «під ключ»), патентування розробленого методу.		

Описавши трирівневу модель товару потрібно визначити цінові межі на товар, керуючись при цьому собівартістю продукту та цінами фірм конкурентів.

Таблиця 3.21

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів фірм	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	LITE SOLUTION	450000	800000-1500000	500000-1000000.

Ціни на систему для повірки і калібрування лічильників газу лежать в межах від 500000 до 1000000 та в загальному залежать від вартості компонентів.

Таблиця 3.22

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Не регулярне замовлення системи	Встановлення контактів із споживачами та підтримка їх; формування попиту і стимулювання збуту; зменшення витрат; маркетингове дослідження.	0 (без посередників)	Приватні та державні підприємства

Для ефективної реалізації стартапу обрано пряму систему збуту, без залучення посередників між виробником та споживачем. Замовити товар та комплектуючі можна буде за допомогою сайту.

Таблиця 3.23

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
-------	------------------------------	--	--	----------------------------------	--------------------------------

	клієнтів				
	Орієнтація на регулярні поставки	Формальні/неформальні канали комунікацій	Індивідуальний підхід; Самодіагностика системи; Якісні комплектуючі; Захист системи; Можливість онлайн стаження.	Інформування споживачів; Розвиток попиту; Стимулювання продажу; Пошук вигідних партнерів;	Данна система є інноваційною та унікальною

Результатом є регулярне постачання товару, індивідуальний підхід до кожного клієнта, самодіагностика системи, висока якість комплектуючих, захищеність від несанкціонованого проникнення та можливість стеження в режимі онлайн.

Висновки до розділу 3

Пропонується нова система для виконання повірки та калібрування витратоміру, що забезпечить високу точність, автономність, та мінімалізацію часу, врахувавши при цьому всі коефіцієнти подібності, та визначивши при цьому комплексний критерій подібності. Визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї. Визначаємо групу конкурентів, що вже існують на ринку та збираємо інформацію про техніко-економічні показники для власної системи. Дізнаємось сильні та слабкі сторони проекту. Систему можна побудувати і промодельовати у Simulink ansys, далі потрібно виконати стеження в онлайн режимі і захищеність системи за допомогою Fail2ban.

Для забезпечення високої конкурентоспроможності потрібно приділити велику увагу якості обладнання та окремим компонентам системи, які забезпечать надійність роботи, самодіагностику та приділити увагу автономності, зробити її простою у використанні, приділити велику увагу програмному забезпеченню та простоті інтерфейсу.

Основними умовами забезпечення конкурентоспроможності є: застосування наукового підходу для покращення системи, збільшення точності, та зменшення похибки різності робочих середовищ, розгляд взаємозв'язку управління процесами на всіх стадіях життєвого циклу; формування системи постійної конкурентоспроможності різних об'єктів.

Для ефективної реалізації стартапу обрано пряму систему збуту, без залучення посередників між виробником та споживачем. Замовити товар та комплектуючі можна буде за допомогою сайту.

Загальний висновок

В магістерській дисертації було проведено аналіз сучасних вимірювальних перетворювачів витрати. Вони всі відрізняються за принципом роботи і будовою. Тому кожен потрібно підбирати конкретно для умов в яких він буде працювати. Найпоширенішими сьогодні є турбінні, ультразвукові, мембранні, роторні та барабанні витратоміри. Розглянуто конструкцію , принцип роботи ультразвукового витратоміра. Складено структурну схему лічильника. Провів розрахунок п'єзоелемента і було розраховано вплив теплового режиму роботи п'єзоелектричного датчика на його чутливість. Визначали перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї. Визначали групу конкурентів, що вже існують на ринку та зібрали інформацію про техніко-економічні показники для власної системи. Дізнались сильні та слабкі сторони проекту.

Перелік посилань

1. Папушин Ю. Л., Білецький В.С.; Основи автоматизації гірничого виробництва. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. — 168 с.
2. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004—2013.
3. Пістун Є. П., Лесовой Л. В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. — Львів: Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. — 576 с.
4. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник./М. П. Андрієшин, С. О. Канєвський, О. М. Капрпаш [та ін.] — Івано-Франківськ: ПП «Сімик». — 2004. — 160с.
5. Папушин Ю. Л., Білецький В. С.; Основи автоматизації гірничого виробництва. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. — 168 с.
6. Wiki.tntu.edu.ua/index.php1
7. Киясбейли А. Ш., Перельштейн М. Е. Вихревые измерительные приборы. — М.: Машиностроение, 1978. — 152 с.
8. Кремлевский П. П. Расходомеры и счётчики количества. Справочник. — Справочник. — 4-е изд. — Л.: Машиностроение, 1989. — 701 с.
9. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості / Й. І. Стенцель, В. В. Тіщук. — Луганськ: Східноукраїнський держ. ун-т, Сєверодонецький технологічний ін-т, 2000. Ч.1. — 263 с.
10. Дж. Фрайден Современные датчики. Справочник М.: Техносфера, 2005. — 592 с.
11. Яцишин С., Польова Г. Витратоміри. Методологічні засади роботи

- 12.ДСТУ ISO 10790:2009 Вимірювання витрати рідини в закритих трубопроводах. Настанови щодо вибирання, монтажу та застосування коріолісових витратомірів.
- 13.Пістун Є. П., Лесовой Л. В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. — Львів: Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. — 576 с.
- 14.Бабіченко А. К., Тошинський В. І. та ін. Промислові засоби автоматизації. Ч.1. Вимірювальні пристрої. — Х. ООО «Роми», 2001.
15. ДСТУ ISO 4006:2009 Вимірювання витрати та кількості плинного середовища в закритих трубопроводах.
- 16.Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. Справочник. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1989.— 701 с.
- 17.Пістун Є. П., Лесовой Л. В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. – Львів: Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. – 576 с.
- 18.А.К. Бабіченко, В.И. Тошинський та ін. Промислові засоби автоматизації. Ч.1. Вимірювальні пристрої. - Х. ООО "Роми", 2001.
- 19.ISO 2975 (1-6) Measurement of water flow in closed conduits - Tracer methods
- 20.Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова // М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
- 21.ГОСТ 8.009-84 Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. М., 2003, 27 с. (Государственная система обеспечения единства измерений).

ДОДАТКИ