

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики
(інститут)

Електротехнічний факультет
(факультет)

Кафедра Метрології та інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню _____ магістра _____
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентки _____ Глинської Анастасії Сергіївни _____
(ПІБ)

академічної групи _____ 152м-17-1 _____
(шифр)

спеціальності _____ Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка _____
(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ _____ Метрологія та інформаційно-вимірювальних технологій _____

за освітньо-професійною програмою _____ магістра _____
(офіційна назва)

на тему _____ "Метрологічне забезпечення системи вимірювання швидкості і розходу рідин та газів"

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтингово ю	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Корсун В.І			
розділів:				
Розділ 1	Корсун В.І			
Розділ 2	Корсун В.І			
Розділ 3	Корсун В.І			
Розділ 4	Корсун В.І			
Розділ 5	Дементьева Н.В			
Рецензент	Бородай В.А			
Нормоконтролер	Харламова Ю.М			

Дніпро
2018_

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Метрології та інформаційно- вимірювальних технологій
(повна назва)

_____ Корсун В.І _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2018__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня _____ магістра _____
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентці Глинській А.С _____ академічної групи 152 м-17-1 _____
(прізвище та ініціали) (шифр)
спеціальності Метрологія та інформаційно- вимірювальна техніка _____

спеціалізації¹ Метрологія та інформаційно- вимірювальних технологій _____
за освітньо-професійною програмою _____ магістра _____
(офіційна назва)

на тему ”Метрологічне забезпечення системи вимірювання швидкості і розходу рідин та газів” _____

затверджену наказом ректора НТУ«Дніпровська політехніка» від 1913-л № 12.11.2018

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Визначити поняття розходу рідин та газів.	16.10.18 – 30.10.18
Розділ 2	Розглянути типи витратомірів.	30.10.18 – 04.11.18
Розділ 3	Описати технологічний процес розходу рідин та газів.	04.11.18 -19.11.18
Розділ 4	Проаналізувати технологічний розрахунок розходу рідин та газів	19.11.18 -03.12.18
Розділ 5	Розрахувати економічний ефект впровадження приладу для вимірювання рідин та газів.	03.12.18 -16.12.18

Завдання видано _____ Корсун В.І _____
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 15 жовтня 2018

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____ Глинська А.С _____
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської роботи складається з: 72 стор., 15 табл., 29 рисунків, 30 літературних джерел.

Ключові слова: РОЗХОДУ РІДИН ТА ГАЗІВ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, MATLAB, МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ.

Актуальність теми. Витрата - поняття, яке позначає обсяг або масу рідини (що саме - залежить від специфіки технологічного процесу), що проходить за одиницю часу по трубопроводу. Об'ємна витрата зазвичай використовується при вимірюванні газів або рідин. Масова - при вимірюванні парів або рідин, змішаних з сипучими речовинами. Вимірювання витрати в одиницях: об'ємна витрата рідин вимірюється в л / сек. або м. куб.; об'ємна витрата газів - в м. куб. / год.

Мета роботи- підвищення ефективності та якості розходу рідин та газів.

Методологія і методи дослідження, застосовувані в магістерській роботі, включають в себе загальнонаукові теоретичні методи дослідження: аналізу; синтезу; моделювання; системного аналізу.

Предметом дослідження є методичні аспекти розходу рідин та газів.

Об'єктами дослідження є ультразвукові витратоміри і системи контролю розходу рідин та газів.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- обґрунтування методів вимірювання розходу рідин та газів;
- розглянуто схеми та принципи дії приладів розходу рідин та газів.

Теоретичні, методологічні та інформаційні основи дослідження. Інформаційну базу дослідження склали матеріали наукових досліджень фахівців, наукова, навчальна та методична література, матеріали періодичних видань, патентна інформація, відомості з мережі Інтернет.

Теоретична значимість роботи полягає в отриманні нової інформації, встановлення закономірностей і формулюванні вимог до реалізації метрологічного контролю розходу рідин та газів.

Практична цінність полягає в експериментальному доведенні можливості і економічної доцільності технології розходу рідин та газів.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка магистерской работы состоит из 72 стр., 15 табл., 29 рисунков, 30 литературных источников.

Ключевые слова: расходы жидкостей и газов ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, MATLAB, метод анализа иерархий.

Актуальность темы. Расход - понятие, которое обозначает объем или массу жидкости (что именно - зависит от специфики технологического процесса), проходящей в единицу времени по трубопроводу. Объемный расход обычно используется при измерении газов или жидкостей. Массовая - при измерении паров или жидкостей, смешанных с сыпучими веществами. Измерение расхода в единицах: объемный расход жидкости измеряется в л / с. или м. куб.; объемный расход газов - в м. куб. / Час.

Цель работы - повышение эффективности и качества расхода жидкостей и газов.

Методология и методы исследования, применяемые в магистерской работе, включают в себя общенаучные теоретические методы исследования: анализа; синтеза; моделирование; системного анализа.

Предметом исследования являются методические аспекты расхода жидкостей и газов.

Объектами исследования являются ультразвуковые расходомеры и системы контроля расхода жидкостей и газов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обоснование методов измерения расхода жидкостей и газов;
- рассмотрены схемы и принципы действия приборов расхода жидкостей и газов.

Теоретические, методологические и информационные основы исследования. Информационную базу исследования составили материалы научных исследований специалистов, научная, учебная и методическая литература, материалы периодических изданий, патентная информация, сведения из сети Интернет.

Теоретическая значимость работы заключается в получении новой информации, установление закономерностей и формулировке требований к реализации метрологического контроля расхода жидкостей и газов.

Практическая ценность заключается в экспериментальном доказательстве возможности и экономической целесообразности технологии расхода жидкостей и газов.

ABSTRACT

The explanatory note of the master's work consists of: 72 pages, 15 tables, 29 figures, 30 literary sources.

Key words: LEAD DISPLAY, GAS, TECHNOLOGICAL CALCULATION, MATLAB, METHOD OF ANALYSIS OF IERARCHI.

Actuality of theme. Consumption - a concept that denotes the volume or mass of fluid (which, exactly - depends on the specifics of the technological process), passing through the unit time of the pipeline. The volume flow is usually used when measuring gases or liquids. Mass - when measuring vapors or liquids mixed with loose substances. Measurement of the cost in units: the volume flow of liquids is measured in l / sec. or m cube; volumetric gas consumption - in m cubic meters. / year.

The purpose of the work is to increase the efficiency and quality of the liquid and gas discharges.

The methodology and methods of research used in the master's thesis, include the general scientific theoretical methods of research: analysis; synthesis; modeling; system analysis.

The subject of the study is the methodical aspects of the flow of liquids and gases.

The objects of the study are ultrasonic flowmeters and systems for controlling the flow of liquids and gases.

The scientific novelty of the work is as follows:

- substantiation of methods of measuring the flow of liquids and gases;
- schemes and principles of operation of devices of liquid and gas discharges are considered.

Theoretical, methodological and information bases of research. The information base of the study consisted of materials of scientific research of specialists, scientific, educational and methodical literature, materials of periodicals, patent information, information from the Internet.

The theoretical significance of the work consists in obtaining new information, establishing regularities and formulating requirements for the implementation of the metrological control of the flow of liquids and gases.

The practical value lies in the experimental proof of the feasibility and economic feasibility of the technology for the flow of liquids and gases.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	11
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	12
1.1 Методи вимірювання витрати.....	12
1.2 Об'ємні методи вимірювання витрати.....	16
1.3 Турбінні лічильники	16
1.4 "Лічильник Вольтмана".....	17
1.5 Магнітно - індукційний (електромагнітний) метод вимірювання витрати.....	18
1.6 Ультразвуковий (акустичний) метод вимірювання витрати.....	20
2 ТИПИ ВИТРАТОМІРІВ.....	24
2.1 Типи витратомірів.....	24
2.2 Витратоміри змінного перепаду тиску.....	26
2.3 Витратоміри постійного перепаду тиску.....	29
2.4 Ротаметр пневматичний фторопластовий типу РПФ.....	30
2.5 Ротаметр спеціальний прямоточний ВІР.....	37
2.6 Електромагнітні витратоміри.....	39
2.7 Лічильники рідин та газів.....	40
2.8 Швидкісний лічильник з вертикальної крильчаткою.....	41
3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	43
3.1 Опис схеми автоматизації з обґрунтуванням вибору приладів	43
3.2 Лічильники рідин.....	45
4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ РІДИН ТА ГАЗІВ.....	47
4.1 Загальні положення та завдання метрологічної експертизи.....	47

4.2	Вибір витратоміра за допомогою метода аналізу ієрархій	50
.....		50
5	ЕКОНОМІКА	60
5.1	Постанова завдання	60
5.2	Розрахунок капітальних витрат	62
5.3	Розрахунок експлуатаційних витрат	63
5.3.1	Амортизаційні відрахування	63
5.3.2	Розрахунок річного фонду заробітної плати	65
5.3.3	Розрахунок єдиного соціального внеска	66
5.3.4	Витрати на поточний ремонт	66
5.3.5	Інші витрати	67
5.3.6	Розрахунок вартості втрат електроенергії	67
5.4	Розрахунок економії від впровадження прибору	69
5.4.1	Розрахунок додаткового обсягу продукції	69
5.4.2	Розрахунок економічної ефективності проекту	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		72

ВСТУП

Витрата - поняття, яке позначає обсяг або масу рідини (що саме - залежить від специфіки технологічного процесу), що проходить за одиницю часу по трубопроводу. Об'ємна витрата зазвичай використовується при вимірюванні газів або рідин. Масова - при вимірюванні парів або рідин, змішаних з сипучими речовинами [1].

Вимірювання витрати в одиницях:

- об'ємна витрата рідин вимірюється в л/сек. або м. куб./год;
- об'ємна витрата газів - в м. куб./год (при тиску в 760 мм рт.ст. і температурі в 20С);
- масова витрата - в кг/год, тонна/год.

Основні методи вимірювання витрати рідин і газів:

- швидкісний;
- об'ємний;
- індукційний;
- дросельний;
- витрата обтікання.

Основна суть об'ємного методу вимірювання полягає в тому, що в одиницю часу все відведені приладом рідини (гази) підсумовуються.

Швидкісний метод дозволяє виміряти, з якою швидкістю рухається рідина по трубопроводу. Знаючи характеристики рідини, параметри трубопроводу і отримані в результаті вимірювання дані дозволяють розрахувати показники витрати.

Дросельний метод вимірювання заснований на створенні штучного перепаду тиску всередині труби до і після проходження рідиною датчиків приладів.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Методи вимірювання витрати

Методи вимірювання витрати та їх особливості

Об'ємний метод вимірювання витрати

Суть методу полягає в вимірі обсягу витісненої рідини в відповідних камерах, що встановлюються в водопровід. Заміри обчислюються в кількості циклів витісненої рідини. Метод може бути дійсним при тиску в трубі до 10 МПа, температури середовища, що не перевищує 150 градусів за Цельсієм, і діаметрі трубопроводу в 1,5-30 см.

Переваги:

- отримання стабільних точних показників.

Недоліки:

- не підходить для середовищ, що містять тверді частинки (потрібно встановлювати фільтри для їх затримання);
- похибка показників зростає в процесі зносу деталей витратоміра.

Похибка - не більше 0,5-1%.

Метод змінного перепаду тиску

Дана методика заснована на звуженні (дроселювання) рідинного або парового потоку всередині трубопроводу, яке дозволяє збільшити його швидкість і одночасно знизити потенційну його енергію. Це призводить до виникнення перепаду тиску в точці дроселювання. Вимірювачі витрат вимірюються перепад тиску по відношенню до швидкості потоку i , в кінцевому підсумку, витрата [2].

Переваги:

- простота установки вимірює пристрої;
- можливість вимірювати витрати в широкому діапазоні значень;
- доступність застосування методу на трубопроводах різного діаметру;
- проведення замірів при високих показниках температури;
- можна користуватися методом при вимірюванні витрати агресивних рідин і газів.

Недоліки:

- між перепадом тисків і витратою існує квадратична залежність, що обмежує діапазон вимірювань;
- на гідравлічному опорі, що виникає при перепаді тиску в трубопроводі, потрібні великі витрати енергії.

Похибка - в межах 1,5-2,5%.

Метод постійного перепаду тиску

Даний метод вимірювань заснований на тому, як сприймається натиск в трубопроводі в залежності від витрати середовища в ньому. Вимірювання проводяться за допомогою приміщення в трубопровід чутливого елемента, який буде переміщатися разом із середовищем. Так, наприклад, працюють ротаметри.

Переваги:

- можна здійснювати вимірювання витрат середовища в широкому діапазоні показників тиску в трубопроводі;
- втрати тиску мінімальні.

Недоліки:

- підходить тільки для видимого відліку витрати;
- не може використовуватися в трубопроводах при великих показниках вібрації.

Похибка - від 0,5% до 2,5%.

Електромагнітний метод вимірювання витрати

В основі даного вимірювального методу лежить закон електромагнітної індукції. Вимірювання залежить від взаємодії електропровідної рідини в трубопроводі з магнітним полем.

Переваги:

- можна здійснювати вимірювання витрати в радіоактивних рідинах,
- - агресивних середовищах, сиропах та ін.;
- великий діапазон вимірювань;
- відсутні гідравлічні втрати на приладі;
- стабільність одержуваних показань.

Недоліки:

- для вимірювань можна використовувати електроди тільки з певних матеріалів, щоб уникнути поляризації; обов'язкове застосування компенсує ланцюга або використання джерела постійного струму для точності вимірювань; необхідність екранування вимірювальних приладів.

Похибка - від 0,5% до 1,0%

Регулювання витрати газу значно складніше регулювання витрати рідини. При будь-якому способі вимірювання газ спочатку повністю очищають від домішки аерозолі, оскільки жодна система вимірювання витрати газу не буде надійно працювати із забрудненою газовою фазою.

Для визначення витрати газу використовують такі прилади: реометри, ротаметри, газоаналізатори і ін. Можна застосовувати і простий газометр, якщо його попередньо калібрують, приклеївши зовні судини смужку міліметрового паперу із зазначенням обсягу газу, що надходить в газометр в одиницю часу.

Найчастіше застосовують реометри зі змінним капіляром або діафрагмою, і ротаметри.

В капілярних реометр капіляр завжди прокалібрований для конкретного газу і певної манометричної рідини. Тому кожен капіляр має свою шкалу, на якій вказані склади газу і манометричної рідини.

Манометричної рідиною може бути підфарбована вода, вазелінове або парафінова олія, чистий гас, ртуть, сірчана кислота [3]..

Найбільш зручний у використанні реометр зі змінними капілярами 1. укріпленими в гумовій пробці. Такий пристрій дозволяє легко очищати капіляри в разі їх забруднення. У нижньому вигині манометричної трубки 3 часто роблять звуження 8, стримуючий рух рідини і дозволяє брати більш точні відліки при періодичному коливанні витрати газу. Іноді у Реометр капіляр закріплюють на манометричної трубі обрізками гумового шланга. Застосування таких Реометр слід уникати, оскільки заміна капілярів в них скрутна і закінчується часто поломкою реометра (кінці капілярів повинні підходити впритул до трубок реометра).

Шкала кожного реометра проградуїована в одиницях об'єму газу, що проходить через капіляр в одиницю часу (л/год, л/хв, мл/с, мл/хв). Щоб вимірювання витрати газу реометром було правильним, потік газу не повинен бути пульсуючим, а перепад тиску в реометре не повинен перевищувати 4-104 Па, або 300 мм вод. ст. В цьому випадку відносна похибка вимірювання складає близько 1%.

Якщо реометр, відкалібрований для одного газу, потрібно використовувати для визначення витрати іншого газу, то отримане значення витрати V , (мл / хв) перераховують, використовуючи співвідношення.

При такому перерахунку щільності двох газів повинні ставитися до тиску 1 атм (101325 Па / і однієї і тієї ж температурі (20 або 25 °С).

Отримані показники перераховують також в тому випадку, коли тиск і температура газу різко відрізняється від значень, при яких відбувалася калібрування реометра.

Реометри з діафрагмою дозволяють пропускати газ з більшою швидкістю - від декількох літрів до десятків літрів газу в хвилину, але вони менш точні, ніж капілярні реометри. Наявні в манометричній трубці розширення з призначені для вирівнювання тиску до і після діафрагми і зменшення коливань манометричної рідини.

Проградуїовані такі реометри зазвичай в л/хв. Замість діафрагми іноді застосовують трубки зі вставками з пористого скла або трубки з тампоном зі скляної або полімерної вати. Якщо пориста вставка або тампон засмічуються, треба готувати нову вставку або тампон і знову калібрувати реометр.

Реометр з гумовою трубкою і поплавком. Прилад являє собою поєднання реометра з регулятором тиску газу. Функції капіляра в ньому виконує гумова трубка з товстими стінками, але вузьким проходом або з тонкими стінками, але з затискачем Гофмана, стискає трубку до певного внутрішнього зазору.

Призначення і області застосування

Вихровий витратомір - різновид витратоміра, принцип дії якого заснований на вимірюванні частоти коливань, що виникають в потоці.

Витратоміри (лічильники) кількості речовини є важливими елементами систем обліку споживання енергоресурсів та управління технологічними процесами в різних галузях промисловості і житлово-комунальному господарстві. Найбільш універсальними і затребуваними до теперішнього часу є витратоміри, в яких реалізується метод вимірювання перепаду тиску на пристрої звуження потоку. Цим методом можна вимірювати витрату практично будь-яких рідких і газоподібних речовин, що рухаються по трубах як малого, так і великого діаметру в широкому інтервалі надлишкових тисків і температур. Однак його недоліком є квадратична залежність перепаду тиску від витрати і, як наслідок, невеликі динамічні діапазони вимірювань (1: 3 ... 1: 5) і значна похибка, що досягає в нижній частині діапазону 3-5% . У зв'язку з цим для вирішення приватних технічних завдань розроблені інші, більш інформативні методи вимірювання витрати (силові, електромагнітні, ультразвукові, оптичні та), Яких налічується вже більше 20 . При цьому актуальною залишається задача розробки і практичної реалізації такого методу, який міг би конкурувати з універсальності з методом вимірювання перепаду тиску, але забезпечував більш високу точність вимірювань в широкому динамічному діапазоні.

Вихрові витратоміри - лічильники призначені для вимірювання об'ємної та масової витрати рідини, газів і пари. Витратоміри складаються з блоку електроніки і первинного перетворювача. Блок виконаний у вигляді циліндричного корпусу з відсіками для оглядового вікна і роз'ємів. На корпусі розташовані кабельні вводи та перехідник для перетворювача. Застосовуються витратоміри для вимірювання і обліку витрати речовин технологічних процесів в промисловості і комунальному господарстві. Ідеально підходить для середовищ з високою температурою і високою швидкістю пара [4]:

- Виробництво енергії - парові установки;
- Промислове застосування - установки ОВКВ, регіональне управління енергоспоживанням ;
- Комерційне застосування - управління енергоспоживанням будівель, студентських містечок та споруд ;

- Нафтогазова промисловість - розподіл природного газу;
- Нафтохімічна промисловість - масова балансування, підігрів технологічних реакцій.

Правильний вибір датчиків безпосередньо впливає на фінальний результат виробничого кругообігу, тому електронні витратоміри є одним з найважливіших ланок ланцюга технічного процесу. Вихрові витратоміри - це одні з найбільш затребуваних на вітчизняному ринку приладів для обліку витрати речовин. Свою популярність вони заслужили завдяки надійності, простоті в експлуатації, високій точності вимірювань і, що важливо, своєю доступності. Історія вихрових витратомірів починається в 60-х роках двадцятого століття, але сучасні датчики зробили величезний крок вперед.

1.2 Об'ємні методи вимірювання витрати

Передбачають послідовне підсумовування порцій контрольованого середовища, що проходять через вимірювальні камери певного обсягу або усували з камер лічильника і при безперервному обертанні його лопатей.

Прямий метод вимірювання використовується в об'ємних лічильниках безпосередньої дії.

В цьому випадку послідовно відмірюють обсяги контрольованого середовища, що визначаються розміром і формою вимірювальних камер, і за допомогою лічильного механізму підраховується число пройшли через лічильник порцій.

Непрямий метод вимірювання використовується в лічильниках без вимірювальних камер. Обсяг визначається, наприклад, шляхом вимірювання переміщення або швидкості потоку, інтеграцією витрати за часом. При цьому необхідно враховувати щільність контрольованого середовища.

1.3 Об'ємні лічильники з лопатями (турбінні лічильники)

- працюють на непрямому методі; в якості чутливого елемента використовується турбінка з лопатями, що обертається контрольованим потоком.

Число оборотів турбіни Z має бути пропорційно обсягу протікає рідини.

$$Z = K \cdot X \cdot V \quad (1.1)$$

де K - коефіцієнт,

V - об'єм.

Характеристика приладу приблизно лінійна тільки в обмеженому діапазоні вимірювання від 1:10 до 1:20 внаслідок наявності тертя в підшипниках, нелінійності впливів профілю потоку, його завихрень, в'язкості середовища.

1.4 "Лічильник Вольтмана"

Принцип дії і конструкція лічильника Вольтмана:

-лічильник з аксіальної турбінкою - вісь шнекової турбіни збігається з напрямком контрольованого потоку і з'єднана передачею з лічильником оборотів.

-лічильник з вертикальною турбінкою - вісь турбіни перпендикулярна до напрямку потоку і несе на собі лічильник оборотів.

Принцип дії заснований на вимірюванні швидкості обертання турбіни контрольованим потоком рідини.

Для безперебійної роботи лічильника необхідно відсутність завихрень у вступнику на турбінку потоці.

Характерні особливості лічильників Вольтмана:

Зміна профілю потоку, що викликається вигином трубопроводу або в повному обсязі відкритої заслінкою, зумовлюють значні похибки лічильників, особливо з аксіальної турбінкою. Для виключення похибок необхідно передбачати перед лічильником пряма ділянка трубопроводу (довжина якого вказується виробників) або встановлювати спеціальний конструктивний елемент – струєвипрямувач у вигляді пучка трубок або взаємно перпендикулярних пластин, що вирівнюють потік [5].

Наявність в потоці струменів, що володіють різною швидкістю, викликає нерівномірний розподіл діючих на турбінку навантажень, що скорочує робочий ресурс підшипників.

У лічильниках з вертикальною турбінкою потік рідини надходить в вимірювальну камеру знизу. Власна вага чутливого елемента діє в напрямку, протилежному напрямку гідродинамічного тиску, що в значній мірі завантажує підшипники. Така конструкція дозволяє при однакових умовних проходах лічильника контролювати значно більші витрати газів і рідини, не перевантажуючи підшипники.

Область застосування лічильників Вольтмана:

Лічильники Вольтмана з вертикальною турбінкою застосовують головним чином для вимірювання витрати гарячої і холодної води на трубопроводах з приєднувальними розмірами більше 50 мм.

1.5 Магнітно - індукційний (електромагнітний) метод вимірювання витрати

Принцип дії і конструкція магнітно - індукційного витратоміра

В електричному провіднику, що переміщається в магнітному полі, виникає електричний струм (за законом електромагнітної індукції). Цей ефект використовується в електромагнітному витратомірі для визначення витрати.

Протікає рідина ототожнюється з провідником, тобто вона повинна мати певний мінімальний провідність.

Володіє електричну провідність рідини, що протікає через магнітне поле, виникає електричне поле (за законом Фарадея). Контрольований потік протікає по армованій ізолятором трубі, в стінках якої перпендикулярно напрямку магнітного поля й потоку середовища встановлені два діаметрально розташованих електрода, з яких знімається напруга, пропорційне середньої швидкості потоку середовища.

Цей сигнал (близько мілівольт), утворений високоомним джерелом, за допомогою кабелю підводиться до вимірювального перетворювача, який підсилює його і здійснює подальшу обробку.

Індуктивний метод можна застосовувати для контролю витрат рідин, що володіють хоча б малої електричну провідність, тому що вхідний опір підсилювача можна збільшувати до безкінечності. Тому цей метод непридатний для вимірювання витрат газів.

Опір первинного вимірювального перетворювача є сумою внутрішнього опору рідини і перехідного опору системи рідина-електрод. Електронний пристрій для обробки вимірювальної інформації має володіти вхідним опором, що перевищує не менше ніж на два порядки величину вихідного опору первинного вимірювального перетворювача.

На відміну від витратомірів інших типів, принцип дії яких заснований на вимірах механічних величин, магнітно-індуктивний перетворювач витрати видає безпосередньо електричний сигнал, подальша обробка якого полягає лише в фільтрації перешкод і підсиленні [6].

Переваги електромагнітних перетворювачів витрати:

- лінійна залежність вихідного сигналу від середньої швидкості контрольованого потоку (по точності перевершує інші методи вимірювання.).

- відсутність в трубопроводі механічних елементів, що забезпечує малу втрату тиску, що не перевищує втрату в прямих трубопроводах тієї ж довжини.

- установка перетворювачів не змінює профіль трубопроводу і характер потоку.

- результат вимірювання в нормальних умовах експлуатації не залежить від температури, в'язкості, концентрації і тиску контрольованого середовища.

- результат вимірювання не залежить від напрямку потоку контрольованого середовища.

- наявність в потоці сторонніх часток не впливає на результат вимірювання.

Область застосування електромагнітних ротаметрів Е/м перетворювачі витрати застосовуються в різних галузях промисловості, в умовах, де інші методи непридатні, в тому числі, наприклад, для вимірювання витрати:

- пульсуючого потоку;
- турбулентного і ламінарного потоку;
- хімічних агресивних і корозійно-активних рідин (при відповідній підготовці витратоміра і електродів);
- вузьких і насичених твердими струмонепровідними частками середовищ.

В окремому випадку, цей метод використовується для агресивних кислот, стічних вод, рідких металів.

1.6 Ультразвуковий (акустичний) метод вимірювання витрати

Швидкість поширення ультразвукових коливань (частотою від 50 кГц і вище) в рухомих рідинах змінюється в залежності від швидкості переміщення самої рідини.

Ультразвукові витратоміри - це прилади засновані на вимірі залежить від витрати ефекту, що виникає при проході акустичних коливань через потік рідини або газу. Майже всі застосовувані на практиці акустичні витратоміри

працюють в ультразвуковому діапазоні частот і тому називаються ультразвуковими.

Ультразвукові витратоміри за принципом вимірювання поділяються по на засновані на переміщенні акустичних коливань рухомим середовищем, і витратоміри, засновані на ефекті Доплера. Найбільшого поширення набули витратоміри, засновані на вимірі різниці часів проходження акустичних коливань по потоку і проти нього. Значно рідше зустрічаються ультразвукові витратоміри, в яких акустичні коливання направляються перпендикулярно до потоку і вимірюється ступінь відхилення цих коливань від первісного напрямку. Ультразвукові витратоміри, засновані на явищі Доплера, призначені в основному для вимірювання місцевої швидкості, але вони знаходять також застосування і для вимірювання витрати. Вимірювальні схеми у них більш прості.

Існує два способи визначення швидкості потоку:

- за допомогою ультразвукових сигналів, що посиляються в зустрічних напрямках паралельно потоку;
- за допомогою ультразвукових сигналів, що посиляються під певним кутом до потоку.

У першому випадку, ультразвуковий сигнал, що посиляється паралельно потоку через нерухому рідину з А в В, поширюється зі швидкістю звуку a . При збігу напрямку сигналу з напрямком переміщається зі швидкістю v рідини результуюча швидкість проходження сигналу визначається сумою швидкостей $v + a$. При цьому сигнал досягає раніше, ніж при проходженні через нерухому рідину [7].

Якщо при тих же умовах напрямком сигналу протилежно напрямку руху рідини (з В в А), то результуюча швидкість визначається різницею швидкостей $a - v$. Час проходження сигналу проти потоку перевищує час його проходження у напрямку потоку.

Різниця часу проходження сигналу служить мірою швидкості потоку v .

Обсяг рідини, що протікає в одиницю часу через дане перетин відомої геометричної форми, може бути визначений шляхом вимірювання середньої швидкості потоку.

При одноканальному способі поширення ультразвукових хвиль за допомогою одного випромінювача і одного приймача має бути витримана постійна температура, так як зміни часу поширення ультразвуку, що викликаються коливаннями температури Δt_a , можуть перевищити зміни вимірюваної різниці часу його проходження Δt , обумовленої зміною швидкості потоку середовища.

На практиці застосовують схеми з двома роздільними каналами, що дозволяють одночасно посилати хвилі в двох протилежних напрямках.

При цьому зміна параметрів середовища однаково впливає на обидва сигнали і не впливає на вимірювану різницю часів їх проходження або різницю фазових зрушень ультразвукових коливань.

Ультразвуковий сигнал для вимірювання генерується п'єзоелектричним вібратором, виконаним у вигляді вміщеної в корпус мембрани з наклеєними на неї п'єзокристалами. При додатку до п'єзокристал електричної напруги зазначених частот кристал починає вібрувати, генеруючи ультразвукові хвилі.

Характеристика ультразвукового витратоміра

Для забезпечення на всьому діапазоні вимірювань похибки $\pm 2\%$ необхідні спеціальні заходи. Як джерела ультразвукових коливань застосовні п'єзоелектричні матеріали: кварц, титанат барію. Діапазон застосовуваних частот 0,5 - 10 МГц.

Для отримання точності 1% на всьому діапазоні, а також при дуже малих швидкостях потоків (0,1-0,5 м/с) слід вибирати спосіб вимірювання, що забезпечує незалежність результатів від швидкості поширення ультразвуку в даному середовищі або використовувати схеми температурної компенсації, що гарантують високу точність.

Переваги ультразвукових перетворювачів витрати:

- висока точність вимірювань;
- стабільні метрологічні характеристики;
- широкий діапазон вимірюваних витрат;
- широкий діапазон робочих температур;
- стійкість до забруднення;
- відсутність рухомих (обертюваних) частин;
- низькі втрати тиску;
- універсальність (можливість вимірювання як рідких, так і газоподібних продуктів і пара);
- висока надійність;
- низьке споживання електрики (можливість автономності та портативності: деякі моделі живляться від батарейок, підвищеної ємності).

Недоліки ультразвукових перетворювачів витрати:

- високі вимоги до однорідності середовища (чутливість до наявності бульбашок повітря у воді);

- залежність вимірювання від температури води;
- схильність електромагнітних завад;
- складність настройки (потрібно грамотне налаштування витратоміра для конкретної мети);
- відносно висока вартість.

Для усунення залежності вимірювання від температури в корпус перетворювача витрати вбудовується термоопір, після обробки сигналів мікропроцесором відбувається корекція потоку по температурі.

Для зниження залежності від однорідності середовища використовується поправка за методом Доплера [8].

Для захисту від електромагнітних завад досить зробити вирівнювання потенціалів між трубопроводами і витратоміром.

2 ТИПИ ВИТРАТОМІРІВ

2.1 Типи витратомірів

Витратоміри можна поділити на кілька основних груп за специфікою застосування, а також за принципом дії.

Групи витратомірів за специфікою застосування (рис.2.1):

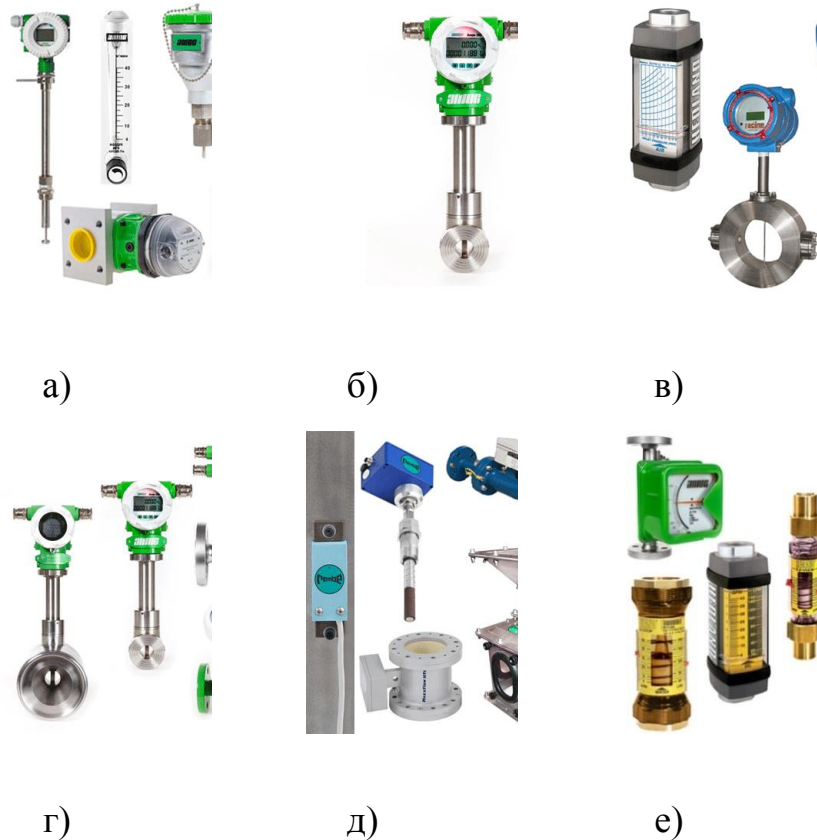


Рисунок 2.1 - Типи витратомірів: а) витратоміри газу; б) витратоміри пара ;в) витратоміри повітря;
г) витратоміри рідини; д) витратоміри сипучих матеріалів; е) ротаметри

- витратоміри рідини - найпоширеніший тип. Використовуються практично в усіх сферах. Деякі універсальні і підходять для газу / пара (наприклад - вихрові EB-200). Спектр моделей і розв'язуваних ними завдань дуже широкий, найкращий варіант підбирається з урахуванням конкретних умов.

- витратоміри газу переважно використовуються для комерційного обліку газу, часто - для обліку тих. газів.

- витратоміри пара.

Специфіка приладів - в придатності роботи в умовах високих температур і підвищених вимогах до надійності конструкції. Знаходять застосування в різних вузлах обліку в ЖКГ, енергетиці, харчовій індустрії.

- витратоміри повітря - датчики, які вимірюють об'ємний витрата газу, пара, який проходить через поперечний переріз потоку (трубопроводу) за одиницю часу [9].

- витратоміри сипучих матеріалів використовуються на виробництві з твердим продуктом, багатофункціональні (можуть зважувати продукт, регулювати техпроцеси дозування, змішування.). Шляхом автоматизації процесів і високої точності роботи збільшують економічну ефективність підприємства.

Ротаметри - прилади безперервного контролю витрат рідин і газів, побудовані на простому принципі роботи, тому економічні.

Групи витратомірів за принципом вимірювання:

- коріолісові - витратоміри, які вимірюють масова витрата рідини. Крім маси вимірюють температуру і швидкість потоку. Через своїх особливостей є найдорожчими приладами. Застосовуються для вимірювання витрати дуже дорогих середовищ.

- ультразвукові - найпростіші в установці витратоміри. Прості через те, що монтаж здійснюється на трубопровід, завдяки чому їх можна встановити досить швидко і без зупинки технологічного процесу.

- вихрові - принцип цих витратомірів ґрунтується на створенні так званої «вихровий доріжки Кармана», всередині якої утворюються пульсації тиску, що визначають витрата.

- електромагнітні - одні з найбільш точних витратомірів. В основі їх роботи лежить принцип електромагнітної індукції. Так само є найнадійнішими, тому що в конструкції відсутні рухомі частини.

- теплові - працюють за принципом перепаду температури. Підходять для визначення малих витрат речовини. Поділяються на 2 види: калориметричні (вимірювальний зонд не контактує з середовищем вимірювань) і термоанемометричні витратоміри (вимірювальний зонд занурений в середу).

- турбінні - найпоширеніший тип витратомірів. У ньому обертається турбіна у напрямку потоку, частота обертань фіксується лічильником імпульсів.

Найбільш широко застосовуються прилади для вимірювання витрат речовин, що протікають по трубопроводах, можна розділити на наступні групи:

- витратоміри змінного перепаду тиску.
- витратоміри постійного перепаду тиску.
- електромагнітні витратоміри.
- лічильники рідин та газів.

2.2 Витратоміри змінного перепаду тиску

Витратоміри змінного перепаду тиску засновані на залежності від витрати перепаду тиску, створюваного пристроєм, який встановлено в трубопроводі, або ж самим елементом останнього.

До складу витратоміра входять: перетворювач витрати, що створює перепад тиску; диференційний манометр, що вимірює цей перепад і сполучні (імпульсні) трубки між перетворювачем і дифманометром. При необхідності передати показання витратоміра на значну відстань до вказаних трьох елементів додаються ще вторинний перетворювач, що перетворює переміщення рухомого елемента дифманометра в електричний і пневматичний сигнал, який по лінії зв'язку передається до вторинного вимірювального приладу. Якщо первинний дифманометр (або вторинний вимірювальний прилад) має інтегратор, то такий прилад вимірює не тільки витрата, але і кількість минулого речовини [10].

Залежно від принципу дії перетворювача витрати дані витратоміри підрозділяються на шість самостійних груп:

- витратоміри з пристроями звуження потоку.
- витратоміри з гідравлічним опором.
- відцентрові витратоміри.

- витратоміри з напірним пристроєм.
- витратоміри з напірним підсилювачем.
- витратоміри ударно - струменеві.

Розглянемо детальніше витратоміри з звужуючим пристроєм, так як вони набули найбільшого поширення в якості основних промислових приладів для вимірювання витрати рідини, газу та пара, в тому числі на нашому підприємстві. Вони засновані на залежності від витрати перепаду тиску, створюваного звужуючим пристроєм, в результаті якого відбувається перетворення частини потенційної енергії потоку в кінетичну.

Різниця тисків до і після звужено устрою вимірюється дифманометром. Принцип дії приладів 13ДД11 (рис.2.2) і Сапфір -22ДД (рис.2.3).

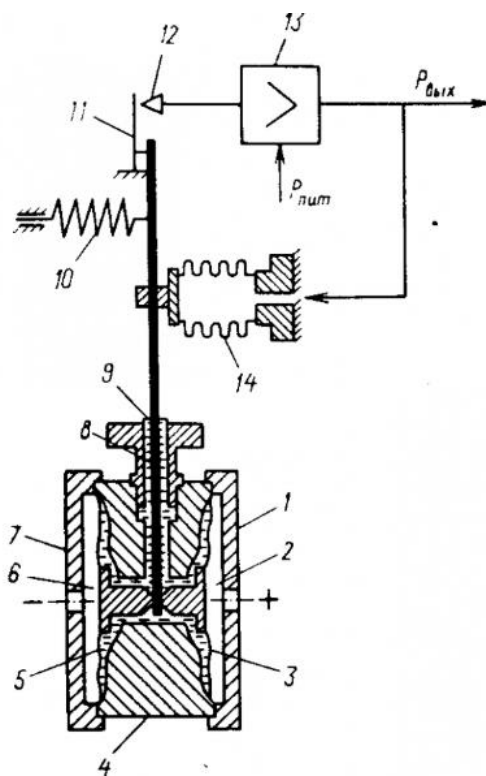


Рисунок 2.2 - Принцип дії приладу 13ДД11

Принцип дії перетворювачів різниці тисків 13ДД11 заснований на пневматичній силовій компенсації. Схема приладу представлена на (рис.2. 2). У плюсову 2 і мінусову 6 порожнини перетворювача, утворені фланцями 1, 7 і мембранами 3,5 підводиться тиск. вимірюваний перепад тиску впливає на мембрани, приварені до основи 4. Внутрішня порожнина між мембранами

заповнена кремнійорганічною рідиною. Під впливом тиску мембрани повертають важіль 8 на невеликий кут щодо опори - пружної мембрани виведення 9. Заслінка 11 переміщається щодо сопла 12, що живиться стисненим повітрям. При цьому сигнал в лінії сопла управляє тиском в підсилювачі 13 і в сильфоні негативного зворотного зв'язку 14. Останній створює момент на важелі 8, компенсуючий момент, що виникає від перепаду тиску. Сигнал, що надходить в сильфон 14, пропорційний вимірюваній різниці тиску, одночасно надсилається в вихідну лінію перетворювача. Пружина коректора нуля 10 дозволяє встановлювати початкове значення вихідного сигналу, що дорівнює 0,02 МПа. Налаштування перетворювача на задану межу вимірювання здійснюється переміщенням сильфона 14 вздовж важеля 8. Вимірювальні пневматичні перетворювачі інших модифікацій виконані аналогічно.

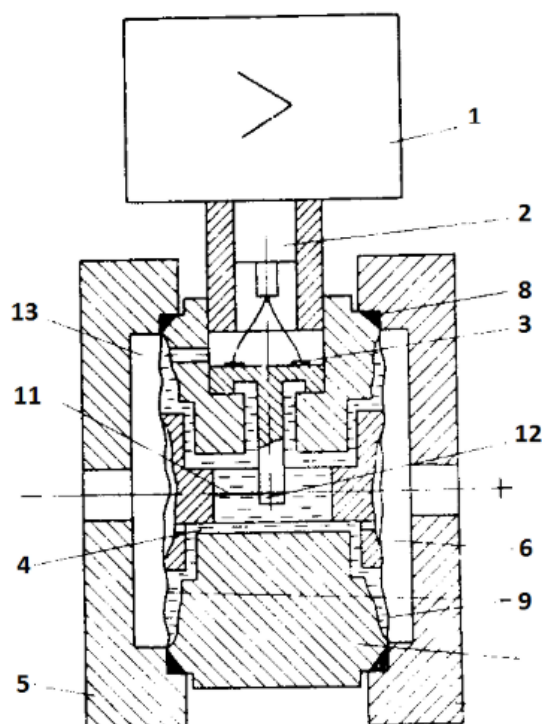


Рисунок 2.3 - Принцип дії приладу Сапфір - 22ДД

Перетворювачі різниці тиску Сапфір - 22ДД (рис. 2.3) має дві камери: плюсову 7 і мінусову 13, до яких підводиться тиск. Вимірюється різниця тисків впливає на мембрани 6, приварені по периметру до основи 9. Фланці ущільнюються прокладками 8. Внутрішня порожнина 4, обмежена мембранами і

тензоперетворювачем 3, заповнена кремнійорганічною рідиною. Під впливом різниці тисків мембрани переміщують тягу 11, яка через шток 12 передає зусилля на важіль тензоперетворювача 3. Це викликає прогин мембрани тензоперетворювача 3 і відповідний електричний сигнал, який передається в електронний пристрій 1 через гермовивід 2.

2.3 Витратоміри постійного перепаду тиску

Принцип їх дії заснований на сприйнятті динамічного напору контрольованого середовища, що залежить від витрати, чутливим елементом (наприклад, поплавком), поміщеним в потік. В результаті дії потоку чутливий елемент переміщається, і величина переміщення служить мірою витрати [12].

Прилади, що працюють на цьому принципі - ротаметри (рис. 2.4).

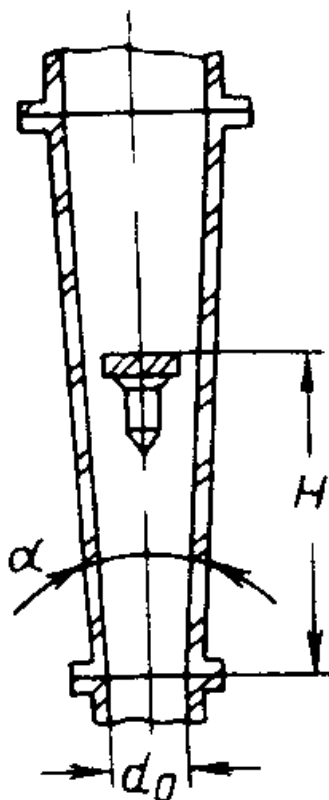


Рисунок 2.4 - Витратомір постійного перепаду тиску

Потік контрольованої речовини надходить в трубку від низу доверху і захоплює за собою поплавок, переміщаючи його вгору, на висоту H . При цьому

збільшується зазор між ним і стінкою конічної трубки, в результаті зменшується швидкість рідини (газу) і зростає тиск над поплавком.

На поплавок діє зусилля від низу до верху:

$$G1 = P1 \cdot S \Rightarrow P1 = G1 / S \quad (2.1)$$

і зверху вниз

$$G2 = P2 \cdot S + q \Rightarrow P2 = (G2 - q) / S \quad (2.2)$$

де $P1, P2$ - тиск речовини на поплавок знизу і зверху;

S - площа поплавка;

q - вага поплавка.

Коли поплавок знаходиться в стані рівноваги $G1 = G2$, отже: так як $q / S = \text{const}$, отже: $P1 - P2 = \text{const}$,

тому такі прилади називають витратомірами постійного перепаду тиску.

При цьому об'ємний витрата може бути розрахований за формулою:

де F_c - площа перетину конічної трубки на висоті h , м²;

F - площа верхньої торцевої поверхні поплавця, м²;

ρ - щільність вимірюваного середовища, кг • м³;

c - коефіцієнт, що залежить від розмірів і конструкції поплавця.

Ротаметри зі скляною трубкою застосовуються тільки для візуальних відліків витрати і позбавлені пристроїв, для передачі сигналу на відстань.

Ротаметр не слід встановлювати в трубопроводах, схильним до сильної вібрації.

Довжина прямої ділянки трубопроводу перед ротаметром повинна бути не менше 10 Ду, а після ротаметра не менше 5 Ду.

2.4 Ротаметр пневматичний фторопластовий типу РПФ

Ротаметри типу РПФ призначені для вимірювання об'ємної витрати плавно мінливих однорідних потоків чистих і слабозабруднених агресивних рідин з дисперсними немагнітними включеннями сторонніх часток, нейтральних до фторопласту і перетворення величини витрати в уніфікований пневматичний сигнал.

РПФ складається з ротаметричної і пневматичної частини (пневмоголовки).

Корпус ротаметричної частини 1 (рис.2.5) являє собою прямоточну трубу з привареними на кінцях кільцями 6.

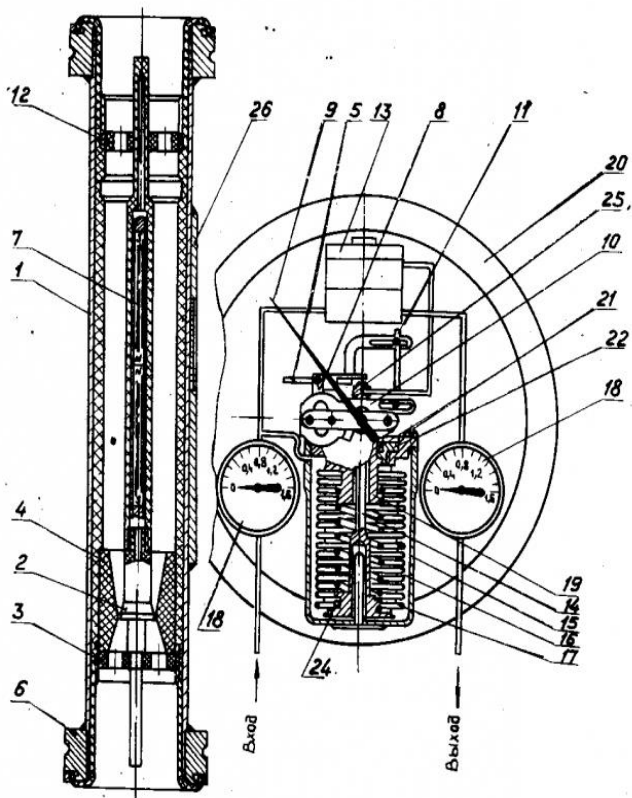


Рисунок 2.5 – Пристрій витратоміра

Усередині корпусу розташовані: що переміщається під дією вимірюваного потоку поплавки 2, жорстко пов'язаний з парними магнітами 7, конус мерительний 4, направляючі 3, 12.

Корпус ротаметрической частини футерован фторопластом-4, а напрямні 3, 12, поплавки 2, конус мерительний 4 виконані із фторопласта-4.

Пневмоголовка призначена для забезпечення місцевих показань і представляє цілий корпус 20, в якому розміщені: сервопривід 16, реле пневматичне 13, манометри 18, стрілка 9, механізм переміщення 10, шкала місцевих показань, вхідний і вихідний штуцери.

Сервопривод 16 являє собою металевий стакан 15, в якому знаходиться вузол сильфон 17. Сильфон 17 розділяє внутрішню порожнину сервоприводу від

зовнішнього середовища і в комплекті з пружиною 24 служить в якості пружного елемента [13].

Нижній кінець сільфона припаяний до рухомого дну, з яким жорстко пов'язаний шток 14. На протилежному кінці штока 14 закріплено сопло 25 і реле механічне 8.

При роботі реле механічне забезпечує закриття сопла заслінкою при збільшенні витрати і відкриття сопла при зменшенні витрат.

Реле механічне (рис.2.6) складається з кронштейна 1, закріпленого на колодці 3, заслінки 2, встановленої разом зі стежить магнітом 5 на кернях в скобі 4. Скоба 4 кріпиться гвинтами до колодки 3. Регулювання положення реле механічного щодо сопла проводиться переміщенням реле механічного уздовж осі штока сервоприводу (рис.2.6).

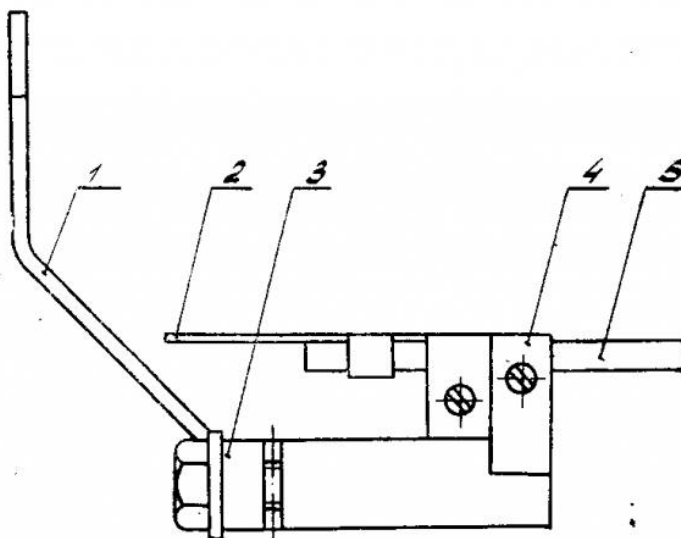


Рисунок 2.6 – Реле механічне

Механізм переміщення 10 шарнірно з'єднаний з реле механічним 8 тягою 11, перетворює переміщення вертикальне штока 14 в обертальний рух стрілки 9.

Всі деталі пневмоголовки захищені від впливу навколишнього середовища (пилу, бризки) і механічних пошкоджень кришкою.

Принцип дії ротаметра заснований на сприйнятті поплавком, що переміщається в вимірювальному конусі 4, динамічного напору, що проходить від низу до верху вимірюваного потоку (рис.2.6).

При підйомі поплавця прохідний зазор між мірильною поверхнею конуса і кромкою поплавка збільшується, при цьому зменшується перепад тиску на поплавці.

Коли перепад тиску стає рівним вазі поплавка, що припадає на одиницю площі його поперечного перерізу, настає рівновага. При цьому кожній величині витрати вимірюваної рідини при певній щільності і кінематичної в'язкості відповідає строго певне положення поплавка [14].

В принципі магнітопневматичного перетворювача використовується властивість сприйняття стежить магнітом 6, механічного переміщення здвоєних магнітом 7, жорстко пов'язаним з поплавком, і перетворення цього переміщення в вихідний пневматичний сигнал (рис.2.6).

Переміщення поплавця вгору викликає зміна положення стежить магніту 6 і жорстко пов'язаної з ним заслінки 5. При цьому зазор між соплом і заслінкою зменшується, командне тиск збільшується, збільшуючи тиск на виході пневматичного реле 4 .

Посилений за потужністю сигнал надходить у внутрішню порожнину стакана 15 (рис 2..5). Під дією цього сигналу відбувається стиснення пружного елемента (сильфон 17-пружина 24) сервоприводу 16, переміщення вгору штока 14, жорстко пов'язаного з нижнім кінцем сильфона 17, сопла 25, реле механічного 8, укріплених на штоку 14.

Рух штока 14 відбувається до тих пір, поки що стежить магніт 5 з заслінкою не займуть початкове положення щодо здвоєних магнітів 7 (рис.2.7).

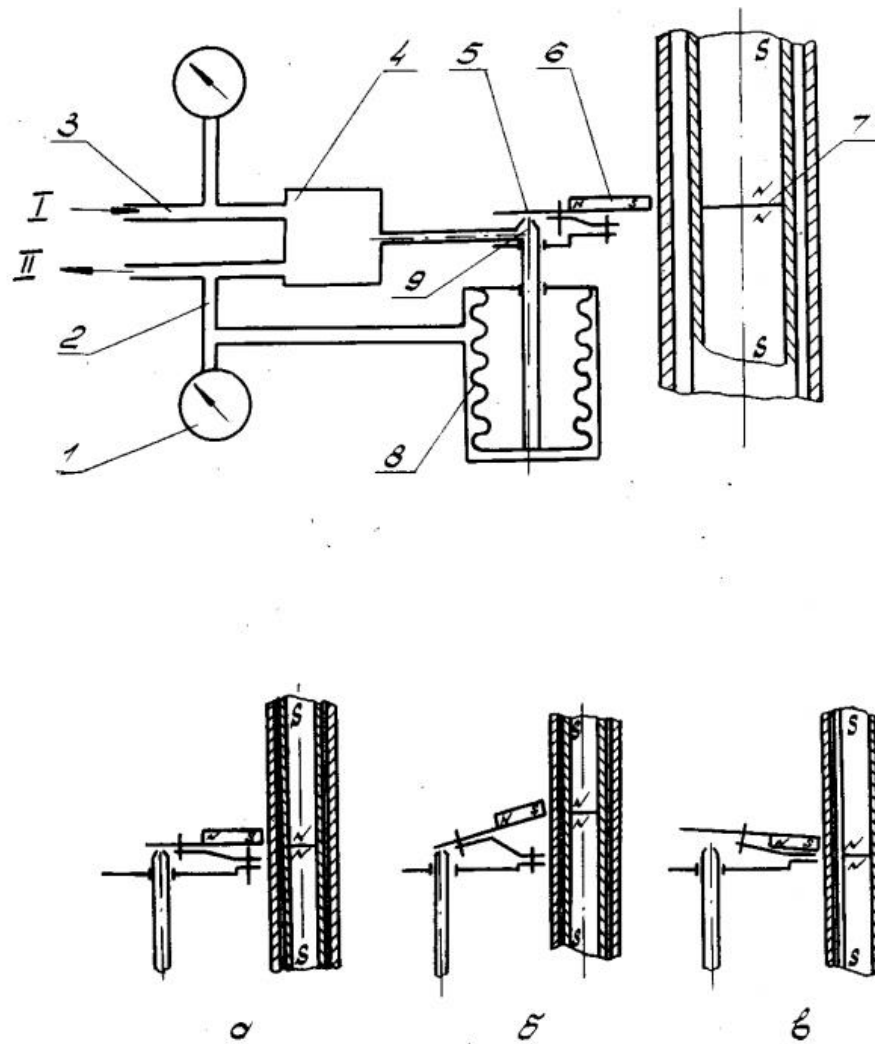


Рисунок 2. 7 – Принцип дії ротаметру

При русі поплавця вниз змінюється положення стежить магніту 5 і пов'язаної з ним заслінки, при цьому зазор між заслінкою і соплом 25 збільшується, зменшуючи тим самим командне тиск і тиск на виході пневматичного реле. Надмірна повітря з порожнини склянки 15 (рис. 2.5) через клапан пневматичного реле стравлюється в атмосферу. Так як тиск в склянці 15 зменшилася, шток 14 під дією пружного елемента (сильфон-пружина) місці з механічним реле 8 переміщається вниз (в сторону руху поплавця) до тих пір, поки що стежить магніт 5 з заслінкою не займуть початкове положення щодо здвоєних магнітів.

Пневматична реле призначене для посилення вихідного пневмосигнала по потужності.

2.5 Ротаметр спеціальний прямоточний ВІР

Принцип дії витратоміра ВІР заснований на ротаметричному способі вимірювання, тобто мірою витрати в ньому є вертикальне переміщення поплавця під впливом оточуючого його потоку рідини. Переміщення поплавця перетворюється в електричний сигнал (рис.2.8).

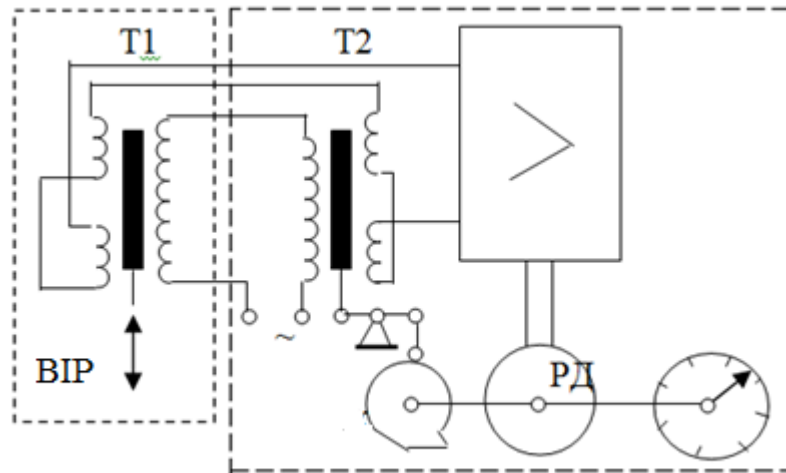


Рисунок 2.8 - Ротаметр спеціальний прямоточний ВІР

Принципова електрична схема ВІР зі схемою підключення до перетворювача (КСД) представлена на (рис. 2.8).

ВІР вдає із себе ротаметричний пар, що реагує на зміну потоку вимірюваної рідини, за допомогою диференціального трансформатора Т1, що перетворює переміщення поплавка-сердечника в напругу змінного струму. Перетворювач (КСД) призначений для харчування первинної обмотки трансформатора Т1 датчика і перетворення напруги змінного струму, індукує у вторинній обмотці диференціального трансформатора Т1 датчика, в свідчення на шкалі приладу, відповідне протікає витраті рідини [15].

Зміна напруги на вторинній обмотці диференціального трансформатора Т2, викликане переміщенням сердечника-поплавка в датчику, посилюється і передається на реверсивний двигун.

Рухомий сердечник диференціального трансформатора Т2 є елементом негативного зворотного зв'язку, що компенсує зміна напруги на вході трансформатора Т2. переміщення сердечника здійснюється через кулачок при

обертанні реверсивного двигуна РД. Одночасно обертання реверсивного двигуна передається на стрілку приладу.

Датчик ротаметра (рис.2.9) складається з корпусу 1, ротаметричної трубки 2, котушки диференціального трансформатора 3, поплавка – осердя 4 і клемної коробки 5.

Корпус являє собою циліндр з кришками 9, всередині якого проходить ротаметрична труба, а до його бічної поверхні приварена клемна коробка з кришкою 6, яка кріпиться шістьма болтами. У корпусі знаходиться котушка диференціального трансформатора, залита компаундом 10 (Віксінти К-18).

Ротаметрична труба являє собою трубу з нержавіючої сталі, на кінцях якої приварені фланці 7, службовці для кріплення датчика на технологічну лінію. Усередині ротаметричної труби знаходиться фторопластова труба 8 з внутрішнім вимірювальним конусом.

Котушка диференціального трансформатора намотана безпосередньо на ротаметричну трубу, кінці обмоток котушки приєднані до прохідних затискачів клемної коробки.

Поплавок – осердя складається з поплавця спеціальної конструкції, виконаного з фторопласту - 4 і сердечника з електротехнічної сталі, розташованого усередині поплавця (рис.2.9).

Котушка диференціального трансформатора з поплавком – осердям становить диференційний трансформатор датчика, первинна обмотка якого живиться від перетворювача, а напруга, індукованих у вторинній обмотці, надходить на перетворювач.

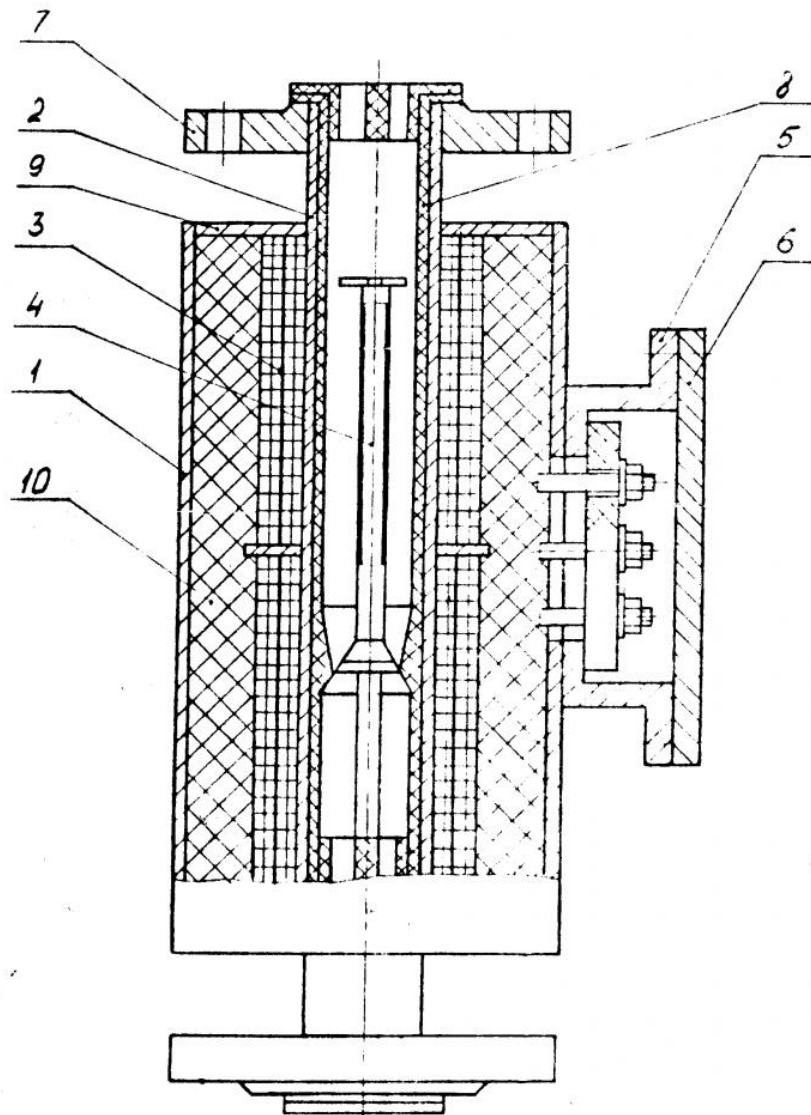


Рисунок 2.9 – Датчик ротаметру

2.6 Електромагнітні ротаметри

В основі електромагнітних витратомірів лежить взаємодія рухається електропровідної рідини з магнітним полем, що підкоряється закону електромагнітної індукції.

Основне застосування отримали такі електромагнітні витратоміри, у яких вимірюється ЕРС, індукована в рідині, при перетині нею магнітного поля. Для цього (рис. 2.10) в ділянку 2 трубопроводу, виготовленого з немагнітного матеріалу, покритого зсередини неелектропровідною ізоляцією і поміщеного між полюсами 1 і 4 магніту або електромагніту, вводяться два електроди 3 і 5 напрямку, перпендикулярному як до напрямку руху рідини, так і до напрямку

силових ліній магнітного поля. Різниця потенціалів E на електродах 3 і 5 (рис.2.10).

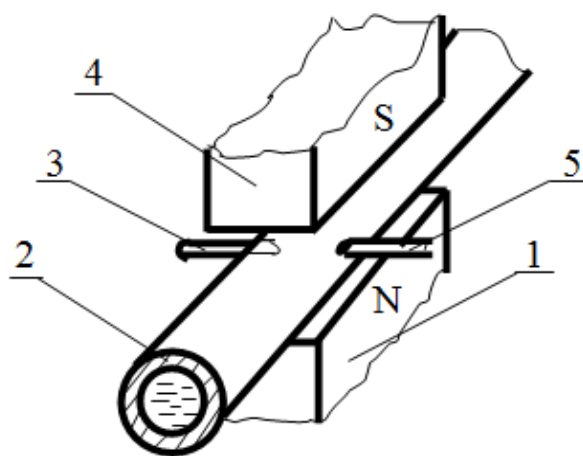


Рисунок 2.10 - Електромагнітні ротаметри

Таким чином, вимірюється різниця потенціалів E прямо пропорційна об'ємному витраті Q_0 . Для обліку крайових ефектів, що викликаються неоднорідністю магнітного поля та шунтувальним дією труби, рівняння множиться на поправочні коефіцієнти k_m і k_i , зазвичай вельми близькі до одиниці [16].

Переваги електромагнітних ротаметрів: незалежність показань від в'язкості і щільності вимірюваної речовини, можливість застосування в трубах будь-якого діаметру, відсутність втрати тиску, лінійність шкали, необхідність в менших довжинах прямих ділянок труб, високу швидкодію, можливість вимірювання агресивних, абразивних і в'язких рідин. Але електромагнітні витратоміри непридатні для вимірювання витрати газу і пари, а також рідин діелектриків, таких, як спирти і нафтопродукти. Вони придатні для вимірювання витрати рідини, у яких питома електрична провідність не менше 10^{-3} См/м.

2.7 Лічильники рідин та газів

За принципом дії всі лічильники рідин і газів діляться на швидкісні і об'ємні.

Швидкісні лічильники влаштовані таким чином, що рідина, що протікає через камеру приладу, приводить в обертання вертушку або крильчатку, кутова швидкість яких пропорційна швидкості потоку, а, отже, і витраті [17].

Об'ємні лічильники. Надходить в прилад рідина (або газ) вимірюється окремими, рівними за обсягом дозами, які потім сумуються.

Швидкісний лічильник з гвинтовий вертушкою.

Швидкісний лічильник з гвинтовий вертушкою служить для вимірювання великих обсягів води (рис.2.11).

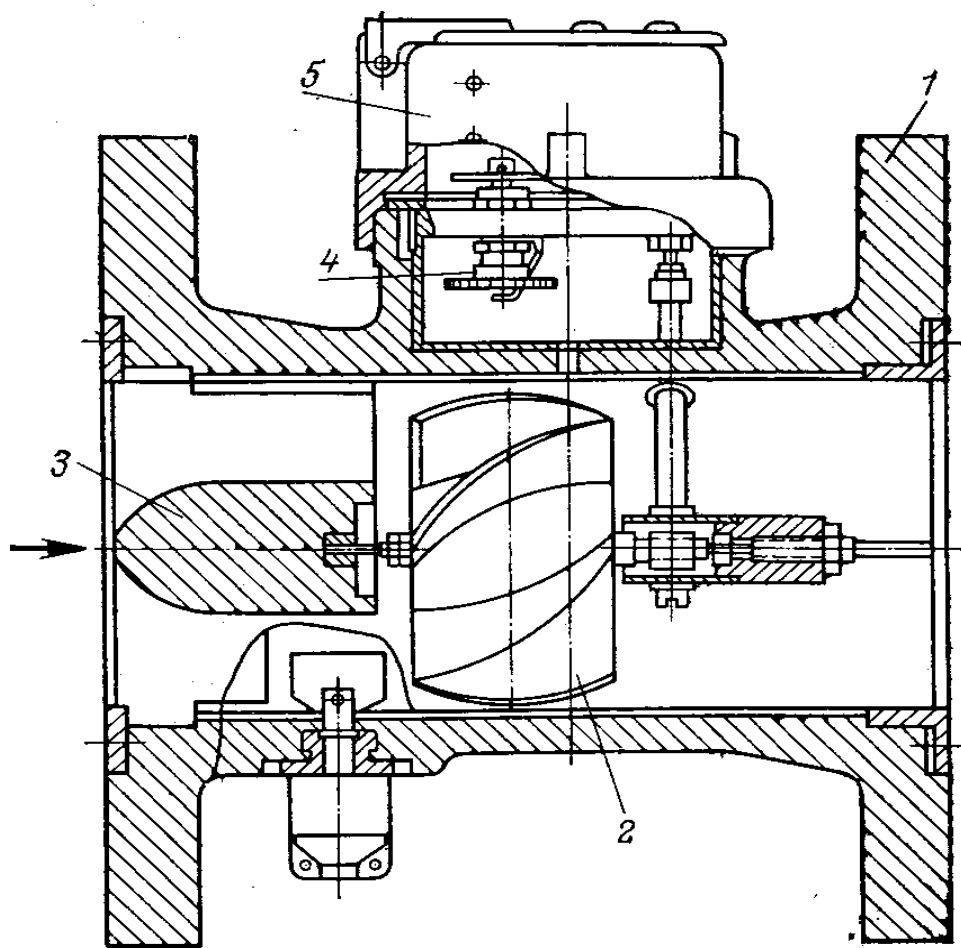


Рисунок 2. 11 – Лічильники рідин та газів

Потік рідини 4 рис. 2.11 вступаючи в прилад, вирівнюється струєвипрямителем 3 і потрапляє на лопаті вертушки 2, яка виконана у вигляді

многозаходного гвинта з великим кроком лопаті. Обертання вертушки через червячну пару і передавальний механізм 4 передається счетному пристрою. Для регулювання приладу одна з радіальних лопатей струєвипрямителя робиться поворотною, завдяки чому, змінюючи швидкість потоку, можна докорити або сповільнити швидкість вертушки.

2.8 Швидкісний лічильник з вертикальною крильчаткою

Цей лічильник застосовується для вимірювання порівняно невеликих витрат води і випускається на номінальні витрати від 1 до 6,3 м³ / год при калібрах від 15 до 40 мм (рис.2.12).

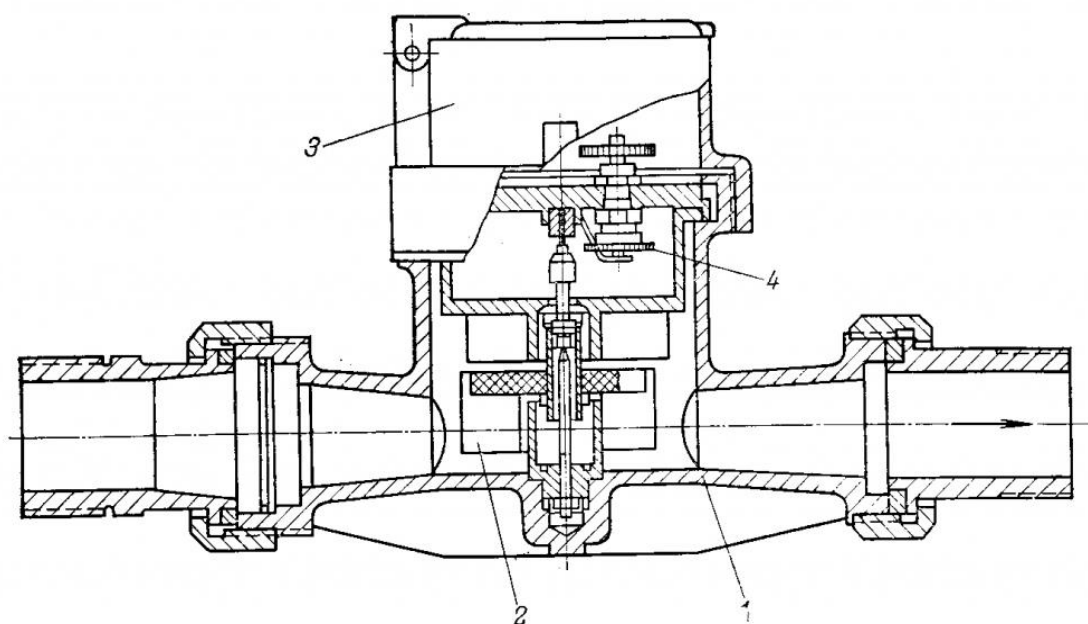


Рисунок 2. 12 - Швидкісний лічильник з вертикальною крильчаткою

Залежно від розподілу потоку води, що надходить на крильчатку, розрізняють дві модифікації лічильників - одноструменеві і багатоструменеві.

На рис.2.12 показано пристрій одноструменевого лічильника з вертикальною крильчаткою. Рідина підводиться до крильчатці тангенціально до окружності, описуваної середнім радіусом лопатей.

Перевагою багатоструменевих лічильників є порівняно невелике навантаження на опору і вісь крильчатки, а недоліком - більш складна у порівнянні з одноструменевими конструкція, можливість засмічення

струеподводящих отворів. Вертушки і крильчатки лічильників виготовляють з целулоїду, пластичних мас і ебоніту [18].

Лічильник встановлюється на лінійній ділянці трубопроводу, при чому на відстані 8-10 D перед ним (D-діаметр трубопроводу) не повинно бути пристроїв, які деформують потік (коліна, трійники, засувки та ін.). У тих випадках, коли все ж очікується певне перекручення потоку, перед лічильниками встановлюють додаткові струевипрямители.

Лічильники з горизонтальною вертушкою можна встановлювати на горизонтальних, похилих і вертикальних трубопроводах, тоді як лічильники з вертикальною крильчаткою - тільки на горизонтальних трубопроводах.

Для об'ємного лічильника з овальними шестернями лічильника засноване на витісненні певних обсягів рідини з вимірювальної камери приладу овальними шестернями, що знаходяться в зубчастому зачепленні і обертовими під дією різниці тисків на вхідному і вихідному патрубках приладу (рис.2.13).

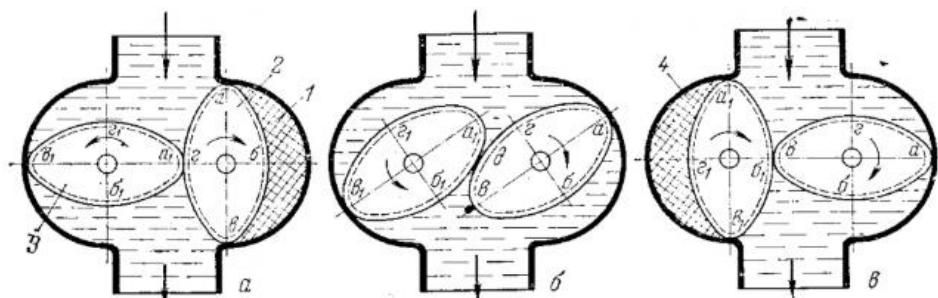


Рисунок 2. 13 - Об'ємний лічильник з овальними шестернями

Схема такого лічильника наведена на рис 2.13. У першому вихідному положенні поверхня га шестерінки 2 знаходиться під тиском рідини, що поступає, а рівна їй поверхню ВГ - під тиском виходить рідини. Меншим вхідного. Ця різниця тисків створює крутний момент, що обертає шестерню 2 за годинниковою стрілкою. При чому рідина з порожнини 1 і порожнини, розташованої під шестерню 3, витісняється у вихідний патрубок. Крутний момент шестерні 3 дорівнює нулю, так як поверхні a_1b_1 і g_1b_1 рівні і знаходяться під однаковим вхідним тиском. Отже, шестерня 2 - провідна, шестерня 3 – ведена [19].

У проміжному положенні (рис. 2.13, б) шестерня 2 обертається в колишньому напрямі, але її крутний момент буде менше, ніж в положенні а, через протидіє моменту, створеного тиском на поверхню ДГ (д- точка контакту шестерень). Поверхня А1В1 шестерні 3 знаходиться під тиском входить, а поверхня в1 б1-під тиском виходить. Шестерня відчуває крутний момент, спрямований проти годинникової стрілки. У цьому положенні обидві шестерні ведучі.

У другому вихідному положенні (рис. 2.13, в) шестерня 3 знаходиться під дією найбільшого крутного моменту і є провідною, в той час як крутний момент шестерні 2 дорівнює нулю, вона ведена.

Однак сумарний крутний момент обох шестерень для будь-якого з положень залишається постійним [20].

За час повного оборот шестерень (один цикл роботи лічильника) порожнини 1 і 4 два рази заповнюються і два рази випорожнюються. Обсяг чотирьох доз рідини, витіснених з цих порожнин, і складає вимірювальний об'єм лічильника.

Чим більше витрата рідини через лічильник, тим з більшою швидкістю обертаються шестерні. Витісняючи відведені обсяги. Передача від овальних шестерень до механізму здійснюється через магнітну муфту, яка працює в такий спосіб. Ведучий магніт укріплений в торці овальної шестірні 3, а ведений на осі, що зв'язує муфту редуктором 5. Камера, де розташовані овальні шестерні, відокремлена від редуктора 5 і лічильного механізму 6 немагнітної перегородкою. Обертаючись, провідний вал зміцнює за собою ведений.

3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

3.1 Опис схеми автоматизації з обґрунтуванням вибору приладів і технічних засобів

Управління будь-яким технологічним процесом або об'єктом у формі ручного або автоматичного впливу можливо лише при наявності вимірювальної інформації про окремі параметри, що характеризують процес або стан об'єкта. Параметри ці досить своєрідні. До них відносяться електричні (сила струму, напруга, опір, потужність та інші), механічні (сила, момент сили, швидкість) і технологічні (температура, тиск, витрата, рівень та інші) параметри, а також параметри характеризують властивості і склад речовин (щільність, в'язкість, електрична провідність, оптичні характеристики, кількість речовини тощо). Вимірювання параметрів здійснюється за допомогою найрізноманітніших технічних засобів, що мають нормованими метрологічними властивостями. Технологічні вимірювання і вимірювальні прилади використовуються при управлінні (ручному або автоматичному) багатьма технологічними процесами в різних галузях народного господарства [21].

Засоби вимірювань відіграють важливу роль при побудові сучасних автоматичних систем регулювання окремих технологічних параметрів і процесів (АСР) і особливо автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП), які вимагають подання великої кількості необхідної вимірювальної інформації у формі, зручній для збору, подальшого перетворення, обробки та представлення її, а в ряді випадків для дистанційної передачі у вище нижче стоять рівні ієрархічної структури управління різними виробництвами [22].

В основі вимірів параметрів і фізичних величин лежать різні фізичні явища і закономірності. Вимірювальні схеми з використанням сучасних досягнень мікроелектронної техніки мікропроцесорних схем, твердих або напівпровідникових електрохімічних елементів та інші.

Через автоматичного регулювання концентрації дифузійного соку в похилому дифузійному апараті відстань між вимірювання вихідної величини і введення регулюючого впливу – зміна витрати води становить майже 20 хвилин.

У результаті цього час чистового запізнювання визначається часом подоланням водою вказаної відстані, заповненого рухається назустріч їй стружці, досягає 20-ти хвилин, а постійна часу об'єкта з цього каналу перевищує 20 хвилин. Ефективне автоматичне регулювання об'єктів з несприятливими динамічними властивостями можливе лише шляхом побудови багатоконтурних систем регулювання з використанням додаткової оперативної інформації..

Продуктивність дифузійних апаратів і повнота вилучення цукру з стружки в значній мірі визначаються швидкістю переміщення стружки та її масою, що припадає на одиницю об'єму корпусу, званої питомим навантаженням. Безпосереднє регулювання цих параметрів, тобто швидкості переміщення стружки і питомого навантаження, в даний час не представляється можливим через відсутність вимірювальних приладів, тому для стабілізації приймають непрямі способи. Питому навантаження оцінюють за величиною струму електродвигуна приводів транспортують органів і регулюють шляхом зміни частоти їх обертання або витрати бурякової стружки. Час чистого запізнювання і інерційність похилого дифузійного апарата по каналу регулювання питомого навантаження сумірною з їхніми значеннями в каналі стабілізації концентрації дифузійного соку [23]..

Схема автоматизації ротаційного дифузійного апарату А1-ПДС-20

Автоматичне регулювання питомого навантаження апарату здійснюються шляхом зміни частоти обертання, а отже, і продуктивності однієї з бурякорізок.

Датчиками температури служать мідні термометри опору 8а, 9а, 10а, 11а і 12а типу ТСМ-50Н. Вторинні прилади - автоматичні мости 8б, 9б, 10б, 11б та 12б типу КСМ-3 сприймають сигнал про зміну температури у відповідних секціях апарату і перетворюють їх за допомогою вбудованих пневматичних пропорційно-інтегральних регулюючих блоків. Під дією вихідних сигналів регулюючих блоків клапани 8д, 9д, 10д, 11д і 12д типу 25430 НЖ змінюють витрату пари, підводиться відповідно до п'ятої, четвертої, третьої, другої та першої секціях.

Необхідна тривалість контакту бурякової стружки з соком досягається шляхом автоматичної стабілізації рівня соку в головній частині похилого

дифузійного апарата. Рівень вимірюється п'єзометричним способом за допомогою діфемонетра 7е типу ДС-П. Пневматичний сигнал, що характеризує рівень соку, надходить від датчика 7е на вторинний прилад 7з типу ПВ10.1Е і статичний регулюючий блок 7і типу ПР 2.8. Застосування пропорційного закону регулювання обумовлено динамічними властивостями об'єкта, який по каналу «витрата соку-рівень» є інтегруючим ланкою. Регулюючий вплив-зміна витрати дифузійного соку, що відбирається з апарату, вводиться за допомогою регулюючого клапана 7я типу 25ч30НЖ, встановленого на трубопроводі відкачування дифузійного соку [24].

3.2 Лічильники

Це прилади, призначені для кількісного відділення маси або об'єму речовини, що пройшов через лічильник. За принципом дії вони поділяються на об'ємні і швидкісні. У молочно промисловості найбільшого поширення набули об'ємні лічильники, принцип дії яких на те, що вимірюється кількість молока, заповнюючи певний обсяг (вимірювальну камеру), витісняється обертовим робочим органом (шестернями), сполученим з рахунковим механізмом. В залежності, що характеризує роботу об'ємних лічильників описується рівнянням (рис. 3.1).

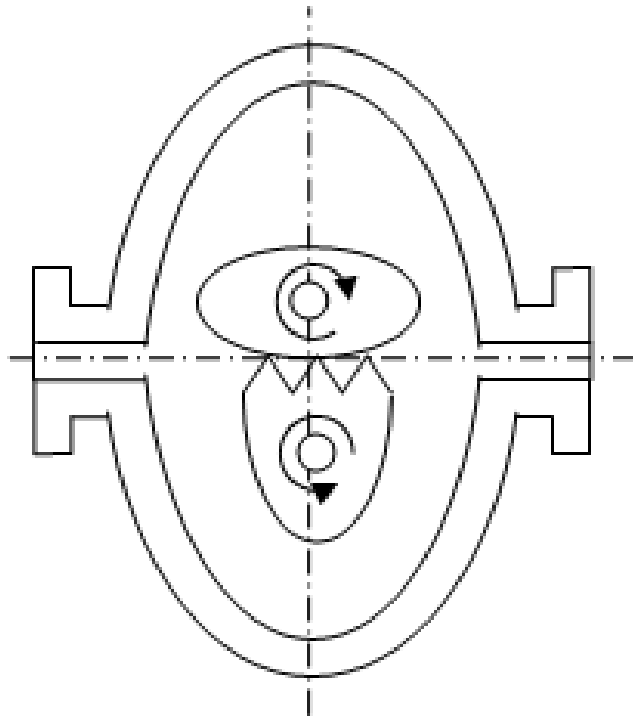


Рисунок 3.1 - Схема лічильника

У корпусі лічильника (рис.2.13) встановлені дві овальні шестерні, що обертаються під тиском рідини, яка надходить до вхідної частини камери. При повороті шестерні відміряних в просторі обсяг молока витісняється з камери. За один повний обертаючий шестерень через лічильник витісняється чотири об'єму рідини, рівних обсягом серпоподібного простору. Одна з шестерень з'єднана з лічильним механізмом, а так як частота обертання шестерень залежить від кількості протікає рідини, то лічильний пристрій реєструє виміряний кількість [25].

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ РІДИН ТА ГАЗІВ

4.1 Аналіз ступеня узгодженості думок експертної групи

Експертне оцінювання проводитиметься для отримання узагальненої думки про конкретному питанні на підставі множинних суджень експертів. Експертне оцінювання одне з найпоширеніших і точних методів, адже експерт є висококваліфікованим фахівцем в конкретній області з високому рівнем компетентності, а також група думку експертів близько до справжнього розв'язання будь-якої представленої проблеми.

Аналіз узгодженості думок експертів - це основний інструмент, який використовується в аналізі та обробці експертних оцінок. Суть цього аналізу полягає у визначенні наскільки близькі або далекі один від одного думки експертів з експертної групи.

Від характеру оцінок залежить спосіб виміру узгодженості думок експертної групи. Узгодженість думок експертної групи можна оцінити за допомогою наступних варіантів

- коефіцієнт рангової кореляції;
- коефіцієнт кореляції;
- коефіцієнт конкордації;
- коефіцієнт варіації.

При оцінці об'єктів дослідження експерти часто розходяться в думках з розв'язуваної проблеми. У зв'язку з цим виникає необхідність кількісної оцінки ступеня згоди експертів. Отримання кількісної міри узгодженості дозволяє більш обґрунтовано інтерпретувати причини розбіжності думок.

Оцінка кожного експерта представляється як точка в деякому просторі, в якому є поняття відстані. Якщо точки, що характеризують оцінки всіх експертів, розташовані на невеликій відстані один від одного, тобто утворюють компактну групу, то, очевидно, можна це інтерпретувати як хорошу узгодженість думок експертів. Якщо ж точки в просторі розкидані на великі відстані, тобто не належать одній області, то узгодженість думок експертів невисока. Можливо, що точки розташовані в просторі так, що утворюють дві або декілька компактних

груп. Це означає, що в експертній групі існують дві або кілька істотно відрізняються точок зору на оцінку об'єктів дослідження. Може бути область точок, що не утворюють сукупності думок - розмита область. В цьому випадку не вдалося виявити точок зору на решаему проблему. Особа, яка приймає рішення, може повторити експертизу або прийняти будь-яке рішення самостійно.

Конкретизація викладеної ідеї оцінки узгодженості думок експертів проводиться в залежності від використання кількісних або якісних шкал вимірювання і вибору заходів ступеня узгодженості (табл.4.1).

При використанні кількісних шкал вимірювання та оцінки всього одного об'єкта все думки експертів можна уявити як точки на числовій осі. Ці точки можна розглядати як реалізації випадкової величини і тому для оцінки центру угруповання і розкиду точок представляється можливим використовувати методи математичної статистики. Центр угруповання точок можна визначити як математичне очікування (середнє значення) або медіану випадкової величини, розкид кількісно оцінюється дисперсією випадкової величини. Мірою узгодженості оцінок експертів, тобто компактності розташування точок на числовій осі, може служити відношення середньоквадратичного відхилення до математичного сподівання випадкової величини.

Якщо об'єкт оцінюється декількома числовими параметрами, то думка кожного експерта представляється як точка в просторі параметрів. Центр угруповання точок також обчислюється як математичне очікування вектора параметрів, а розкид точок - дисперсією вектора параметрів. Мірою узгодженості суджень експертів може служити в цьому випадку сума відстаней оцінок від середнього значення, віднесена до відстані математичного очікування від початку координат. Мірою узгодженості може служити кількість точок, розташованих в радіусі середнє відхилення від математичного очікування, до всієї кількості точок.

За характером обчислення показники можуть відображати:

- відносну частоту (до уваги береться відстань між незбіжними оцінками);
- варіаційний розмах (висловлює ступінь протиріч думок експертів з урахуванням відстані між окремими оцінками);

- середнє відхилення (показує ступінь суперечливості думок, яка заснована на відхиленні оцінок від центрального значення).

Таблиця 4.1 – Загальна класифікація показників ступеня узгодженості думок експертів

Показник	Позначення	Діапазон значень	Тип	Число об'єктів	Кількість експертів
Коефіцієнт рангової кореляції					
-Кенделла	r_k		Відносна частота	k	2
-Спірмена	p	[-1;1] [-1;1]	Варіаційний розмах	k	2
Коефіцієнт кореляції	r	[-1;1]	Середнє відхилення	k	2
Коефіцієнт варіації	V	[0;1]	Відносна частота	1	n
Коефіцієнт конкордації	W	[0;1]	Середнє відхилення	k	n

Показники ступеня узгодженості думок призначені для кількісної оцінки ступеня збігів думок двох або більше експертів з приводу одного або більше об'єктів експертизи. Використовуючи один або кілька показників ступеня узгодженості думок експертів можна оцінити наскільки експертна група збігається в своїх думках. Якщо ж дані показники менше бажаних значень, то слід переглянути формат подачі інформації для оцінювання експертами або переглянути формат подачі інформації для оцінювання експертами або переглянути склад експертної групи.

4.2 Вибір витратоміра за допомогою метода аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархії (МАІ) - це систематична процедура, що ґрунтується на ієрархічному представленні елементів, які визначають суть проблеми. Проблема розбивається на простіші складові з наступним оцінюванням особою, що приймає рішення (ОПР), відносно ступеня взаємодії елементів отримуваної ієрархічної структури. В методі використовуються жорсткі оцінки в шкалі відношень. МАІ будується на принципі ідентичності та декомпозиції і включає процедури синтезу множинних тверджень, отримання пріоритетності критеріїв та знаходження альтернативних рішень [29]. Принцип ідентичності та декомпозиції передбачає структурування проблем у вигляді ієрархії або мережі як першого етапу МАІ. Можна виділити ряд модифікацій МАІ, що визначаються характером зав'язків між критеріями й альтернативами.

За характером зав'язків між критеріями й альтернативами визначається два типу ієрархій. До першого типу відносяться такі, у яких є кожен критерій, що має зв'язок з альтернативами, зв'язаний з усіма альтернативами, що розглядаються (тип ієрархій з однаковими числом і функціональним складом альтернатив під критеріями). До другого типу ієрархій належать такі, у яких кожен критерій, що має зв'язок з альтернативами, зв'язаний не з усіма альтернативами, що розглядаються (тип ієрархій з різним числом і функціональним складом альтернатив під критеріями).

У МАІ є три методи порівняння альтернатив: попарне порівняння ; порівняння альтернатив щодо стандартів і порівняння альтернатив копіюванням. Останні два методи використовуються в тому випадку, коли з тих чи інших причин відсутні оцінки деяких альтернатив за деякими критеріями.

Побудова ієрархії починається з окреслення проблеми дослідження.

Далі будується власне ієрархія, що включає мету (призначення), якій відповідає корінь ієрархії, проміжні рівні (аспекти мети, мета критерії, критеріїв) і альтернативи, що формують найнижчий ієрархічний рівень (листя).

Елементи задачі в МАІ порівнюються попарно відносно їх дії (точності, ваги) на спільну для них характеристику. У випадку ієрархічного представлення

проблеми матриця складається для порівняння відносної важливості критеріїв другого рівня відносно загальної мети першого рівня (кореня ієрархії), далі будуються такі ж матриці для парних порівнянь наступного рівня відносно елементів попереднього, тобто процес побудови матриць попарних порівнянь шляхом опитування експертів реалізується «згори-донизу».

В ієрархії виділяють елементи двох типів :елементи-предки і елементи-нащадки. Елементи-нащадки впливають на відповідні елементи попереднього рівня ієрархії, що є стосовно них елементами-предками. Парні порівняння реалізуються в термінах домінування одного елемента над іншим. Отриманні твердження висловлюються в цілих числах з урахуванням дев'ятибальної шкали. Значення елементів цих матриць визначаються в результаті опитування експертів. Парні порівняння реалізуються в шкалі відношень, тобто в термінах домінування одного з елементів-нащадків певного предка над іншим (цьому відповідає порівняння «у скільки разів»).

Для реалізації суб'єктивних парних порівнянь в МАІ використовується наступна дев'ятибальна шкала наведена в таблиці 4.2.

У процесі формування матриці попарних порівнянь на матрицю накладається обмеження оберненої симетричності, тобто за умовою $a_{ij} = 1/a_{ji}$, що сприяє поліпшенню однорідності та послідовності тверджень

експерта, тобто в числових твердженнях якщо один елемент в m разів переважає інший, то останній в $1/m$ разів переважає перший (або в m разів гірший). При порушенні однорідності ранг матриці попарних порівнянь відмінний від одиниці і вона буде мати декілька власних значень, а умова оберненої симетричності забезпечить невід'ємність всіх компонент головного власного вектору.

Таблиця 4.2 - Шкала відносної важливості МАІ

Бал k	Визначення	Примітка
1	Рівна важливість	Рівний вклад двох видів діяльності в мету
3	Помірна перевага	Легка перевага одного виду діяльності над іншим
5	Суттєва перевага	Відчутна перевага одного виду діяльності над іншим
7	Значна перевага	Практично значна перевага одного виду діяльності над іншим
9	Дуже велика перевага	Очевидна перевага–домінування одного виду над іншим
2,4,6,8	Проміжні значення	Застосовуються в перехідних випадках
$1/k$	Обернені величини	Використовуються для оцінки не переважаючих видів діяльності

Однак при невеликих відхиленнях тверджень від однорідності одне з власних значень буде істотно більше за інші і приблизно дорівнюватиме порядку матриці. Отже для оцінки однорідності тверджень експерта доцільно використати відхилення величини максимального значення λ_{max} від порядку матриці n .

Отримана в результаті опитування експерта матриця буде узгодженою, тобто відображати певну непослідовність тверджень експерта, яка в реальних умовах наявна завжди. Корисним результатом для оцінювання узгодженості є індекс узгодженості, який дає інформацію про ступінь порушення числової та транзитної – порядкової узгодженості. Якщо відхилення від узгодженості перевищують межі, то доцільно їх перевірити в матриці. Індекс узгодженості розраховується за формулою:

$$I_u = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j \times \sum_{i=1}^n a_{ij}) - n}{n-1} = \frac{\lambda_{\max} - 1}{n-1}. \quad (4.1)$$

Обчислений індекс I_u порівнюємо зі значенням, яке отримується за умовами випадкового вибору кількісних значень з шкали 7, 5, 3 ..., 1/5, 1/7 зі збереженням умови оберненої симетричності випадкової матриці. Середні значення для випадкових матриць різного розміру наведені нижче (табл. 4.3)

Таблиця 4.3 - Значення індексу узгодженості для випадкових матриць

Розмір таблиці	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Випадкова узгодженість	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Відношення узгодженості є часткою від ділення індексу узгодженості на відповідне значення випадкової узгодженості $I_0 = I_u / M(I_u)$.

Якщо отримане значення є меншим, ніж 10%, то рівень узгодженості може вважатися задовільним. У деяких випадках можна обмежитися 20%.

За допомогою методу аналізу ієрархії виберемо найбільш ефективний газоаналізатор з чотирьох наявних за чотирма критеріями, де

Q_1 - визначення витрати рідин та газів;

Q_2 - ціна;

Q_3 - габарити;

Q_4 - точність;

B_1 – вихровий витратомір;

B_2 – електромагнітний витратомір;

B_3 – ультразвуковий витратомір;

B_4 – коріолісовий витратомір.

Заповнюємо матрицю попарних порівнянь критеріїв використовуючи данні шкали відносної важливості МАІ.

Таблиця.4.4 - Матриця попарних порівнянь критеріїв Q1-Q4

	Q1	Q2	Q3	Q4
Q1	1	1/7	5	1/9
Q2	7	1	7	1/7
Q3	1/5	1/7	1	1/9
Q4	9	7	9	1

Подібним чином заповнюємо матрицю попарних порівнянь. Матриця попарних порівнянь альтернатив за критеріями

**Таблиця 4.5 - Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм
Визначення витрати рідин та газів**

Q1	B1	B2	B3	B4
B1	1	3	5	7
B2	1/3	1	3	7
B3	1/5	1/3	1	5
B4	1/7	1/7	1/5	1

Таблиця 4.6 - Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм ціна

Q2	B1	B2	B3	B4
B1	1	3	5	5
B2	1/3	1	7	7
B3	1/5	1/7	1	1
B4	1/5	1/7	1	1

Таблиця 4.7 - Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм габарити

Q3	B1	B2	B3	B4
B1	1	3	5	3
B2	1/3	1	3	1
B3	1/5	1/3	1	3
B4	1/3	1	1/3	1

Таблиця 4.8 - Матриця попарних порівнянь альтернатив за критерієм точність

Q4	B1	B2	B3	B4
B1	1	1/5	1/9	1/2
B2	5	1	1/3	4
B3	9	3	1	7
B4	2	1/4	1/7	1

Таблиця 4.9 - Розрахунок узгодженості матриці критеріїв

	Q1	Q2	Q3	Q4	Вектор пріоритетів
Q1	1	1/7	5	1/9	0.0858
Q2	7	1	7	1/7	0.2427
Q3	1/5	1/7	1	1/9	0.0324
Q4	9	7	9	1	0.6391

$$I_u=0.263$$

$$I_0=0.292$$

Таблиця 4.10 - Розрахунок значень локальних пріоритетів для альтернатив за критерієм Q1

Q1	B1	B2	B3	B4	Вектор пріоритетів
B1	1	3	5	7	0.550
B2	1/3	1	3	7	0.273
B3	1/5	1/3	1	5	0.131
B4	1/7	1/7	1/5	1	0.044

$$I_u=0.08$$

$$I_0=0.08$$

Таблиця 4.11 – Розрахунок значень локальних пріоритетів для альтернатив за критерієм Q2

Q2	B1	B2	B3	B4	Вектор пріоритетів
B1	1	3	5	5	0.523
B2	1/3	1	7	7	0.343
B3	1/5	1/7	1	1	0.068
B4	1/5	1/7	1	1	0.068

$$I_u=0.09$$

$$I_0=0.1$$

Таблиця 4.12 - Розрахунок значень локальних пріоритетів для альтернатив за критерієм Q3

Q3	B1	B2	B3	B4	Вектор пріоритетів
B1	1	3	5	5	0.507
B2	1/3	1	7	7	0.215
B3	1/5	1/7	1	1	0.154
B4	1/5	1/7	1	1	0.124

$$I_u=0.173$$

$$I_0=0.192$$

Таблиця 4.13 - Розраховані значення локальних пріоритетів для альтернатив за критерієм Q4

Q4	B1	B2	B3	B4	Вектор пріоритетів
B1	1	1/6	1/9	1/2	0.053
B2	6	1	1/3	4	0.261
B3	9	3	1	7	0.602
B4	2	1/4	1/7	1	0.084

$$I_u=0.9$$

$$I_0=0.22$$

Розраховуємо глобальні пріоритети альтернатив :

$$P = \begin{pmatrix} 0.5500 & 0.5220 & 0.5070 & 0.0530 \\ 0.2730 & 0.3430 & 0.2150 & 0.2610 \\ 0.1310 & 0.0680 & 0.1540 & 0.6020 \\ 0.0440 & 0.0680 & 0.1240 & 0.0840 \end{pmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} 0.0860 \\ 0.2430 \\ 0.0320 \\ 0.6390 \end{pmatrix}$$

$$P * x = \begin{pmatrix} 0,2242 \\ 0.2805 \\ 0.4174 \\ 0.0780 \end{pmatrix}$$

Оскільки третє число є найбільшим , то вибираємо ультразвуковий витратомір.

5 ЕКОНОМІКА

5.1 Постановка завдання

В даній магістерській роботі пропонується впровадити прилад (впровадження нового ротаметра Н250), що дозволить автоматично контролювати вимірювання розходу рідин та газів .

Такий захід дозволить суттєво поліпшити контроль щодо точнішого досягнення необхідних значень технічних характеристик процесу вимірювання витрати рідин та газів .

Для визначення економічної доцільності запропонованого у магістерській дисертації витратоміра у даному розділі виконуються розрахунки техніко-економічних показників та показників економічної ефективності проекту [30].

5.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати - це кошти, призначені для створення та придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації .

Капітальні вкладення розраховуються за формулою (5.1):

$$K_{np} = \sum_{i=1}^k C_i + Z_{mzc} + Z_m + Z_n + Z_{inni} \quad (5.1)$$

де $\sum_{i=1}^k C_i$ - вартість придбання приладу;

k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

Z_{mzc} - транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m - витрати на монтажні роботи;

Z_n - витрати на налагоджувальні роботи;

Z_{inni} - інші витрати. 30 % від витрати на налагоджувальні роботи;

Вартість придбання ротаметр Н250 **визначено у відповідності до** прейскуранту цін <https://prom.ua/Promyshlennyye-rashodomery.html> станом на 25.12.2018. Ціна обладнання складає 10 000грн.

Таблиця 5.1 - Зведення капітальних витрат

п/п	Найменування статей витрат	Порядок розрахунку	Сума, грн.
Ротамер Н250			
1	Ціна, грн.	-	10000
2	транспортно-заготівельні і складські витрати	згідно тарифам організації-перевізника	
3	витрати на монтажні та налагоджувальні роботи	$Z_{м(н)} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_{\delta} \times K_{CM} \times K_{np}$	155,28
4	інші витрати	$K_{ини} = (30\%/100\%) \cdot Z_{мн}$	46,59

Транспортно-заготівельні і складські витрати розраховуються згідно тарифам організації-перевізника "Нова Пошта" з урахуванням габаритів, маси вантажу та відстані: (габарити 200x100x80мм - вага 3 кг;). (<https://novaposhta.ua/delivery>) сума доставки - 105 грн.

Витрати на монтажні Z_m і на налагоджувальні роботи Z_n можна визначити наступним чином за формулою 5.2 :

$$Z_{м(н)} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_{\delta} \times K_{CM} \times K_{np}, \quad (5.2)$$

де C_i - чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чол. a_i - годинна тарифна ставка і-го розряду, грн. t_i - час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, час. K_{δ} - коефіцієнт, що враховує розмір доплат; K_{CM} - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

K_{np} - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійсненні монтажних (налагоджувальних) робіт.

Дані на розрахунок налагоджувальних витрат, наведено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 - Розрахунок наладжувальних витрат

Найменування затрат	Од.вимірювання	Позначення	Значення
Чисельність працівників	чол.	q_i	2
Часова тарифна ставка, V розряд	грн./год.	a_i	22,04
Час для виконання роботи	година	t_i	3
Коефіцієнт, що враховує розмір доплат	грн.	K_δ	1,1
Коефіцієнт, що враховує єдиний соц. внесок	грн.	K_{CM}	1,2
Коефіцієнт, що враховує інші витрати	грн.	K_{np}	1,05

За формулою (5.2) :

$$Z_H = (2 * 22,04 * 3) * 1,1 * 1,22 * 1,05 = 186,34 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{інш}} = \left(\frac{30}{100}\right) * 186,34 = 55,91 \text{ грн}$$

Таким чином капітальні витрати дорівнюють:

$$K_H = 10000 + 105 + 186,34 + 55,91 = 10\,347,25 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

Експлуатаційні витрати можна розрахувати за формулою (5.3):

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e + C_{np}, \text{ грн.} \quad (5.3)$$

де C_a – амортизаційні відрахування ;

C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу ;

C_c – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати ;

C_m – витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання;

C_e – вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування;

C_{np} – інші експлуатаційні витрати .

5.3.1 Амортизаційні відрахування

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Прилад для вимірювання рідин відноситься до 4 групи (машини і обладнання) основних засобів, тому термін його корисного користування дорівнює 5 років.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний метод амортизації, при якому річна сума амортизації розраховується як відношення вартості, яка амортизується до терміну корисного використання об'єкта основних фондів.

Так як не представляється можливим визначити ліквідаційну вартість використовуваного обладнання, приймаємо $\Phi_d = 0$. Тоді формула розрахунку амортизації набуде вигляду (5.4):

$$AO = \frac{\Phi_n}{T_n} \quad (5.4)$$

де Φ_n – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

T_n – строк корисного використання.

$$AO = \frac{10\,291,87}{5} = 2\,058,37 \text{ грн}$$

5.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Здійснюється за категоріями персоналу (робітники, ІТП, керівники), обслуговуючого об'єкт проектування, відповідно до їх чисельністю, режимом роботи, годинними тарифними ставками, посадовими окладами, застосовуваними на підприємстві формами і системами оплати праці та преміювання.

Таблиця 5.3 – Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу

п/п	Найменування професій робітників	Явочний штат в зміну, чол.	Часова тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, г.	Разом, основна зарплата по тарифам, грн.
1.	Слюсар	1	28,41	681	19347,21
2.	Інженер-метролог	1	34,09	681	23215,29

Номінальний річний фонд робочого часу розраховується так (5.5) :

$$T = (D_k - D_{cv} - D_{vix} - D_{vid}) \times t \quad (5.5)$$

D_k – дні календарні;

D_{cv} – дні святкові;

D_{vix} – дні вихідні;

D_{vid} – дні відпустки;

t – час зміни.

$$T = (365 - 10 - 104 - 24) * 8 = 227 * 8 = 1816, \text{ годин.}$$

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 20% від основної заробітної плати.

Премія обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 10% від основної заробітної плати.

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати становить(5.6):

$$C_з = Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{пр} \quad (5.6)$$

де $Z_{осн}$, $Z_{доп}$, $Z_{пр}$ - основна та додаткова заробітна плата відповідно ,та премія грн.

$$Z_{доп} = \frac{20}{100} * 19347,21 = 3869,44$$

$$Z_{доп} = \frac{10}{100} * 19347,21 = 1934,72$$

$$Z_{доп1} = \frac{20}{100} * 23215,29 = 4643,06$$

$$Z_{доп1} = \frac{10}{100} * 23215,29 = 2321,53$$

$C_з = 3869,4 + 1934,72 + 4643,06 + 2321,53 + 19347,21 + 23215,29 = 55331,25$ грн.

5.3.3 Розрахунок єдиного соціального внеска

Складають в 2018 20% згідно закону від фонду заробітної плати відповідно до розмірів єдиного внеску.

$$ЄСН = \frac{19347,21 * 20}{100} = 3869,44 \text{ грн}$$

$$ЄСН = \frac{23215,29 * 20}{100} = 4643,06 \text{ грн}$$

5.3.4 Витрати на поточний ремонт

Ремонт приладу можна розрахувати за формулою (5.7):

$$Зм.р. = \sum_{i=1}^n \left(R_i \times t_i \times m_i \times R_{\sum i} + \frac{S_i \times \Pi_i}{T_i} \times T_{\phi} \right), \quad (5.7)$$

де n - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i - годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t_i - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту ч / од .;

m_i - число ремонтів за рік;

$R_{\sum i}$ - сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання;

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн .;

Π_i - кількість однотипних замінних елементів;

T_i - середній термін служби деталей даного типу, годин ;

T_ϕ - число годин роботи апаратури на рік, годин.

$$T_\phi = 681$$

$$Z_{т.р} = 22,04 * 2 * 2 \frac{250*4}{6000} 681 = 10\,006 \text{ грн}$$

5.3.5 Інші витрати

По експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Відповідно до практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$Z_{пр} = \frac{4}{100} * C_з$$

$$Z_{пр} = \frac{4}{100} 3869,44 = 154,77 \text{ грн.}$$

$$Z_{пр} = \frac{4}{100} 4643,06 = 185,72 \text{ грн}$$

5.3.5 Розрахунок вартості втрат електроенергії

Вартість втрат електроенергії об'єктом проектування протягом року визначається за формулою:

$$C_з = W_p + C_e, \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де W_p - річні втрати електроенергії, кВт*годин;

C_e - тариф на електроенергію, грн./кВт*годин.

Кількість електроенергії, яка споживається впровадженим об'єктом за рік знаходиться наступним чином:

$$W_\Gamma = N_y \cdot T_n \cdot K_{инт}, \text{ кВт}, \quad (5.9)$$

де N_y - встановлена потужність обладнання;

T_n - Номінальний час роботи обладнання за рік;

$K_{\text{инт}}$ - Інтегральний коефіцієнт використання потужності.

Для ротаметру:

$$W_{\text{Г1}} = 5 \cdot 365 \cdot 0,6 = 1095 \text{ кВт},$$

$$C_{\text{э1}} = 876 \cdot 1,68 = 1839,6 \text{ грн.}$$

За формулою (5.3) експлуатаційні витрати для ротаметра склали:

$$C_{\text{пр}} = 2\,058,37 + 3869,4 + 1934,72 + 4\,643,06 + 2321,53 + 19347,21 + 23215,29 + 185,72 + 154,77 + 3869,44 + 10\,006 = 71\,605,51 \text{ грн}$$

5.4 Розрахунок економії від впровадження прибору

5.4.1 Розрахунок додаткового обсягу продукції

C_o – Середньорічний обсяг продукції, що випускається – 2000 м³/рік

C_b – Середня вартість розходу рідин – 233 грн/м³

У зв'язку з впровадження нового обладнання середньорічний обсяг продукції, що випускається збільшиться завдяки зменшенню витоку рідин :

Кількість оборотів вертушки - 48

$$\frac{2000}{48} = 41,66 \text{ - час одного циклу}$$

$$\frac{2000}{681} * 41,66 = 2,97 \text{ годин /м}^3 \text{ - витрата часу на 1 м}^3$$

Кількість циклів на рік

$$k = \frac{(356 - 104 - 10) * 16}{2,97} = 1303,7$$

зниження затрат у часі $\Delta t_{\text{уд}} = 0,25$ годин/цикл

$$\Delta Q_{\text{уд}} = \frac{45}{2,97} = 15,15$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{уд}} * \Delta t_{\text{уд}} * k = 15,15 * 1303,7 * 0,25 = 4937,7 \text{ м}^3$$

Тоді додатковий прибуток складе

$$\Delta C = 230 * 4937,7 = 1135671 \text{ грн}$$

Повна річна економія від впровадження прийнятого технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E_{\text{кп}} = \Delta П, \text{ грн,}$$

$$\Delta\Pi = \Delta C - C_{\text{пр}},$$

$$\Delta\Pi = 113567 - 78320,31 = 10573,56\text{грн.}$$

5.4.2 Розрахунок економічної ефективності проекту

Нормативне значення коефіцієнта ефективності:

$$E_{\text{н}} = \left(\frac{\alpha_{\text{д}} + \alpha_{\text{інф}}}{100\%} \right) \left(1 - \frac{\alpha_{\text{пдв}}}{100\%} \right)$$

Де $\alpha_{\text{д}}$ – індекс банківської відсоткової ставки (11%)

$\alpha_{\text{пдв}}$ – індекс ПДВ (20%)

$\alpha_{\text{інф}}$ – індекс інфляції (11,4% станом на 2018)

$$E_{\text{н}} = \left(\frac{11\% + 11,4\%}{100\%} \right) \left(1 - \frac{20\%}{100\%} \right) = 0,1792$$

Період окупності нормативний складе:

$$T_{\text{окн}} = \frac{1}{E_{\text{н}}} = \frac{1}{0,1792} = 5,58$$

Реальний термін окупності розраховується за формулою

$$T_{\text{окр}} = \frac{K_{\text{пр}}}{\Delta\Pi}$$

де $\Delta\Pi$ – повна річна економія;

$K_{\text{пр}}$ – капітальні вкладення;

$$T_{\text{окр}} = \frac{10347,25}{10573,56} = 3,27$$

$$T_{\text{окн}} 5,58 \text{ года} \leq T_{\text{окр}} = 3,27 \text{ роки,}$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат $E_{\text{р}}$:

$$E_{\text{р}} = \frac{\Delta\Pi}{K_{\text{пр}}},$$

де $\Delta\Pi$ – повна річна економія;

$K_{\text{пр}}$ – капітальні вкладення;

$$E_{\text{р}} = \frac{10573,56}{10347,25} = 1,03$$

Розрахунки показують, що вираз:

$$E_p = 1,03, > E_n = 0,1792,$$

виконується, а отже економічно підтверджується доцільність впровадження проекту.

Висновки

У техніко-економічному обґрунтуванні виконувалися розрахунки капітальних витрат для ротаметра. Проводився розрахунок обсягу експлуатаційних витрат, визначена річна економія від впровадження даного проекту. Розрахунок періоду окупності показав його прийнятність і технічну обґрунтованість для впровадження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень отримані наступні результати:

1. На підставі огляду літературних джерел був проведений аналіз розходу рідин та газів.
2. Розглянуто ультразвуковий ротаметр, як об'єкт та принцип дії вимірювання рідин та газів.
3. Був проведений технологічний розрахунок ротаметра рідин та газів. Розглянуто контроль за вимірюванням рідин та газів.
4. Виконано розрахунки капітальних витрат на нове обладнання, яке було впроваджено. Також виконано розрахунок обсягу експлуатаційних витрат, визначена річна економія від впровадження даного проекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кремлевский П. П. Расходомеры и счётчики количества. Справочник. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 2014.— 701 с.
2. С. Яцишин, Г. Польова Витратоміри. Методологічні засади роботи.
3. Сборник задач по машиностроительной гидравлике. Бутаев Д. А., Калмыкова З. А., Подвидз Л. Г. и др., М., «Машиностроение» 2012. — 472 с.
4. Байбиков А. С, Караханьян В. К, Гидродинамика вспомогательных трактов лопастных машин. М.: Машиностроение,-2016. — 112 с, ил.
5. Краев М. В., Овсянников Б. В., Шапиро А. С. Гидродинамические радиальные уплотнения высокооборотных валов. М.: «Машиностроение», 2015.- 103 с.
6. Поліщук Э.С. Вимірювальні перетворювачі / Э.С. Поліщук. – М.: Вища школа, 2014 - 400 с.
7. Фарсане Н.Г. Технологічні виміри й прилади / Фарсане Н.Г., Илясов Л.В. – М.: Вища школа, 2015. – 340 с.
8. Бартенев В.Р. Розподілена модульна система терморегулювання СИНТАЛ ТЕРМОЛІНК / В.Р. Бартенев, Р.В. Бартенев // CHIP NEWS. – № 9. – 2013 с.
9. Основы метрології й електричні вимір. – М.: Энергоатом издат, 1987. – 370 с. 5. Вимір електричних і неелектричних величин / М.М. Євтіхіїв та ін. – М.: Энергоатом издат, 2012. – 210 с. Надійшла д
10. 1. Андронов И. В. Измерение расхода жидкостей и газов / Андронов И.В. – М. : Энергоиздат, 2013. – 88 с.
11. Хансуваров К.И. Техніка вимірювання тиску, витрат кількості та рівню рідини, газу та пару / Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г. – К. : Наукова думка, 2015. – 86 с.
12. Полулях К.С. Определение оптимальных параметров автогенераторного расходомера / Полулях К.С., Тополов И.И. // Украинский метрологический журнал. – 2012. – № 4. – С.48-50.

13. Полулях К.С. Бигенераторные микропроцессорные измерительные преобразователи / Полулях К.С., Тополов И.И. // Український метрологічний журнал. – 2014. – № 2. – С.46-50.

14. Древецький В.В. Інформаційно–вимірювальна система кінематичної в'язкості нафтопродуктів / В. В. Древецький // Методи та прилади контролю якості. – Івано–Франківськ. – 2015. – №15.– С.116–119.

15. Артемьев Б.Г., Голубев С.М. Справочное пособие для работников метрологических служб / С. М. Голубев, Б. Г. Артемьев 2-х кн. Издательство 2-е, перераб. доп. – М.: Издательство стандартов, 2014. 553 с.

16. Степанов Л.П. Измерения вязкости жидкостей / Л. П. Степанов, 2016.- 350 с.

17. Коноплева Г.П., Степанов Л.П. и еще один и др. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерения вязкости / Г. П. Коноплева, Л. П. Степанов // Измерительная техника. – 2011, №12. – С. 15.

18. Гаузнер С.И., Кивилис С.С., Осокина А.П., Павловский А.Н. Измерение массы, объема, плотности / С. И.Гаузнер, С. С. Кивилис, А. П. Осокина, А. Н. Павловський – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 528 с.

19. Окоча А.І., Антипенко А.М. Паливо-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: Підручник. – К: Урожай, 2016. – 336 с

20. Окоча А.І., Білоконь Я.Ю. Автотракторні витратні матеріали: Довідник. – К.: Фаза, 2012. – 102 с.

21. Плитман И.Б. Справочное пособие для работников автозаправочных и автомобильных газонаполненных станций. – М.: Недра, 2014. – 155 с

22. Смазочные материалы. Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: Справочник / Р.М. Матвиевский, В.Л. Лащхи, И.А. Буяновский и др. – М.: Машиностроение, 2011. – 224 с.

23. Топливо, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / К.М. Базыштова, Я.А. Берштад, Ш.К. Богданов и др.; Под ред. В.М. Школьников. – М.: Химия, 2014. – 432 с.

24. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / В.Я. Чабанний, В. А., Павлюк-Мороз В.А., С.О. Магопець та ін. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2014. – 449 с.
25. Чулков П.В., Чулков И.П. Топливо и смазочные материалы: Ассортимент, качество, применение, экономика, экология. – М.: Политехника, 2015. – 302 с.
26. Petuhov, B. S. (1967). Teploobmen i soprotivlenie pri laminarnom techenii zhidkosti v trubah. Moscow: Energiia. 409 p. [in Russian]
27. Ponomarev, S. V., & Mishhenko, S. V. (1997). Metody i ustrojstva dlja izmerenija jeffektivnyh teplofizicheskikh harakteristik potokov tehnologicheskikh zhidkostej. Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. unta. 249 p. [in Russian].
28. Ponomarev, S. V., Mishhenko, S. V., Divin, A. G. et al. (2008). Teoreticheskie i prakticheskie osnovy teplofizicheskikh izmerenij. Moscow Fizmatlit. 408 p. [in Russian].
29. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ./Т. Саати - М.: Радио и связь, 1993. - 320 с.
30. Укладачі Шереметьєва І. В, . Тимошенко Л.В . Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів галузі знань 0507 «Електротехніка та електромеханіка» - Дніпропетровськ: НТУ «Дніпровська політехніка», 2015. - 15 с.