

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі

Розробка пристрою для реєстрації витрат рідини в машинах легкої промисловості

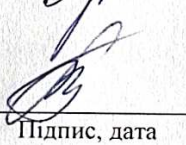
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу група РМз-21


Підпис

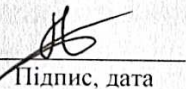
Ващук Р.П.
Ініціали, прізвище

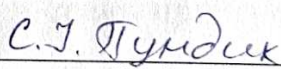
Керівник


Підпис, дата

старший викладач
Лісевич С.П.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

02 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

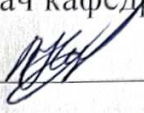
Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


02. 06 .2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ващук Роман Павлович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка пристрою для реєстрації витрат рідини в машинах легкої промисловості**

Керівник роботи **Лісевич С.П., старший викладач**

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.25

3. Вихідні дані до роботи: **прототипи пристрою для реєстрації витрат рідини в машинах, технологічні та технічні характеристики пристрою для реєстрації витрат рідини в машинах**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний огляд методів та засобів вимірювання витрати рідини

2. Розробка системи реєстрації та контролю витрати рідини

3. Конструктивна розробка робочого елемента приладу для реєстрації витрати

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Конструкції витратомірів. Документ оглядовий. (A1). **Аркуш 2.**

Пристрій для реєстрації витрат рідини в машинах легкої промисловості. Схе-

ма структурна (A1). **Аркуш 3.** Схема вимірювання. Документ технологічний

(A1). **Аркуш 4.** Реєстратор витрат рідини. Схема електрична принципова.

(A1). **Аркуш 5.** Пристрій для реєстрації витрат рідини. Складальне креслення

Аркуш 6. Деталювання пристрою (A2).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

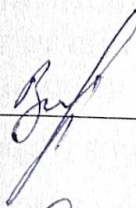
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Аналітичний огляд методів та засобів вимірювання витрати рідини	05.05.25 р.	
2. Розробка системи реєстрації та контролю витрати рідини	20.05.25 р.	
3. Конструктивна розробка робочого елемента приладу для реєстрації витрати	10.06.25 р.	

Студент

Підпис



Ващук Р.П.

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис



Лісевич С.П.

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської роботи студента
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
ОП «Робототехнічні та мехатронні системи галузі»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Вашук Роман Павлович
2. Тема бакалаврської роботи Розробка пристрою для реєстрації витрат рідини в машинах легкої промисловості
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____
4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень арк., сторінок записки

5. Ця робота присвячена розробці пристрою для реєстрації витрат рідини в машинах легкої промисловості

У роботі описується розробка пристрою для реєстрації витрат рідини в машинах легкої промисловості

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В першому розділі проведено огляд і аналіз пристроїв для вимірювання витрати рідин різних конструкцій. Окреслено їхні позитивні та негативні сторони. У розділі 1.3 сформульовано постановку задачі з розроблення пристрою для визначення витрати рідини.

В другому розділі розроблено структурну схему пристрою для контролю витрати рідини. Описано призначення кожного з елементів схеми, зокрема: перетворювача для контролю витрати рідини, механізму передачі крутного моменту, блоку підрахунку кількості обертів перетворювача, що включає герконові датчики, суматор сигналів датчиків, дешифратор сигналів. Розроблено кінематичну та електричну схему пристрою для контролю витрати рідини.

В третьому розділі виконано конструювання робочого органа пристрою для вимірювання витрати рідини. Зокрема, були розглянуті різні варіанти виконання робочих органів — турбінки та крильчатки - та обрано оптимальні з них. Проведено розрахунки робочих елементів пристрою (перетворювача) для вимірювання витрати рідини. Вибрано відповідні підшипники для кріплення крильчатки пристрою. Розраховано параметри індукційного перетворювача пристрою. Виконані розрахунки підтверджують працездатність розробленого пристрою.

Підпис студента _____

« 02 » 06 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК

Протокол 52 від « 25 » 06 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК добре / 4,0/с

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар Бурджак А.В. Бу

« 25 » 06 20 25 р.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ.....	7
1.1 Дослідження методів вимірювання витрати рідини.....	7
1.2 Огляд вимірювальних приладів для визначення витрати рідини.....	8
1.3 Аналіз існуючих технічних рішень і формулювання завдань для розробки пристрою.....	19





X

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ ТА КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ РІДИНИ.....	21
2.1 Побудова структурної схеми роботи пристрою.....	21
2.2 Технологічна схема контролю реєстрації рідини.....	26
2.3 Опис пристрою для реєстрації витрати рідини та принцип його функціонування.....	28
2.4 Принципова електрична схема системи вимірювання витрати рідини	29

X

3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА РОБОЧОГО ЕЛЕМЕНТА ПРИЛАДУ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ВИТРАТИ.....	34
3.1 Порівняльний аналіз типів робочих органів: турбінка та крильчатка	34
3.2 Проведення інженерних розрахунків для робочого органу	37
3.3 Вибір підшипникових вузлів для встановлення крильчатки.....	44

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Вашук			Розробка пристрою для реєстрації витрат в машинах легкої промисловості	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Лісевич				у	4	
Н.контр.		Пукдєк			ХНУ, РМЗ-21			
Затвер.		Неймак						

3.4 Обчислення параметрів індукційного датчика.....	45
3.5 Аналіз похибок і сил тертя в опорах.....	52
3.6 Загальна компоновка вимірювального пристрою.....	53
3.7 Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою	54
Висновок.....	59
Перелік джерел посилання.....	60
Додатки.....	62

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Приладобудування є однією з провідних галузей промисловості, яка відіграє ключову роль у забезпеченні технічного прогресу в народному господарстві. Ефективність використання приладів значною мірою залежить від рівня їх обслуговування, який, у свою чергу, визначається професійною підготовкою фахівців у сфері приладобудування.

Одним з основних параметрів, що підлягає контролю у багатьох галузях, зокрема в транспортній, є витрата рідини. Її точне та надійне вимірювання має вирішальне значення для достовірності результатів експериментальних досліджень. Крім того, облік витрати й кількості рідини лежить в основі планування та контролю виробництва.

Різноманіття вимог до засобів вимірювання витрати й об'єму речовин зумовлене специфікою дослідницької та виробничої діяльності у різних секторах економіки. Відмінності у фізико-хімічних властивостях рідин стимулювали створення та впровадження широкого спектра методів і засобів їх вимірювання.

У цій галузі спостерігається значна концентрація наукових ідей та інженерних рішень. Практично всі відомі фізичні явища, незалежно від часу їх відкриття, знаходять своє застосування в сучасних вимірювальних технологіях. Проте, незважаючи на низку досягнень, еталонна та зразкова база в області вимірювань витрати рідин усе ще не відповідає сучасним вимогам науки та виробництва, що зумовлює потребу в її модернізації.

Для забезпечення точного та оперативного обліку рідин, що використовуються у технологічних процесах, необхідно впроваджувати автоматизовані системи керування. Первинні вимірювальні перетворювачі формують сигнали, які надходять до обчислювальних елементів цих систем, де інформація ідентифікується та обробляється.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ

1.1 Дослідження методів вимірювання витрати рідини

Існує велика кількість первинних вимірювальних приладів, що різняться за призначенням і конструктивним виконанням та використовуються для вимірювання фізичних параметрів рідинних потоків. Серед них особливо важливе місце займають лічильники й витратоміри рідини. Лічильники призначені для визначення об'єму рідини, що проходить через трубопровід, тоді як витратоміри використовуються для вимірювання витрати рідини.

Під витратою розуміють кількість рідини, яка проходить через поперечний переріз потоку за одиницю часу.

Залежно від одиниць виміру кількості рідини - витрата може бути об'ємною Q у м³/с чи масовою M у кг/с.

Масова та об'ємна витрати пов'язані співвідношенням, аналогічним до зв'язку між масою та кількістю речовини:

$$M = \rho \cdot Q \quad (1.1)$$

Якщо уживати вище приведені поняття середньої швидкості V_{cp} в кг/с потоку, то витрата об'ємна визначатиметься за формулою:

$$Q = V_{cp} \cdot F \quad (1.2)$$

де F - площа торцевого перерізу потоку.

Для нестабільних потоків середня швидкість змінюється випадковим чином у часі, відповідно, витрата у загальному випадку також є випадковою величиною, точніше — випадковим процесом. При цьому можна вимірювати лише

окремі статистичні характеристики цього процесу, а саме: миттєва витрата — значення витрати в певний момент часу; середня витрата — усереднене за певний проміжок часу значення витрати; "пікова" витрата — максимальне значення витрати, зафіксоване на заданому часовому інтервалі.

Миттєві витрати, як правило, вимірюються при керуванні технологічними процесами з метою забезпечення оптимальних режимів роботи енергетичних установок і теплових двигунів; середні витрати — під час випробувань, визначення "витратних характеристик" об'єктів і процесів (наприклад, при оцінюванні питомих витрат рідини різними установками, дебіту нафтових і газових свердловин тощо), а також при облікових операціях; "пікові" витрати є характерними для дослідницьких робіт, що пов'язані з довгостроковими прогнозами поведінки ґрунтових і стічних вод, паводкових явищ у відкритих каналах і руслах.

Витрата рідини — це величина, чисельно рівна кількості рідини, яка проходить через даний переріз трубопроводу за одиницю часу.

Крім того, існують засоби вимірювання, що дозволяють визначати не лише витрату, а й кількість рідини одночасно. Такі прилади мають назву "витратомір з лічильником" або "лічильник-витратомір".

Спільною особливістю лічильників і витратомірів рідини одного типу є наявність первинного вимірювального перетворювача. Відомі такі типи вимірювальних перетворювачів: швидкісні, об'ємні, барабанні та вагові — як промислового, так і лабораторного виконання. Вони відрізняються за конструктивними особливостями та можуть мати як просту, так і більш складну будову.

1.2 Огляд вимірювальних приладів для визначення витрати рідини

У сучасному промисловому виробництві використовуються лічильники, які відрізняються між собою за призначенням, принципом дії та конструктивним виконанням. Для оцінювання та порівняння різних конструкцій і модифіка-

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

цій лічильників як вимірювальних приладів, а також для визначення їхньої фактичної точності вимірювання кількості, нормуються такі характеристики:

- калібр це діаметр відносного проходу вхідного патрубку перетину, мм;
- умовна похибка показників у відсотках це різниця між даними лічильника V_c і дійсним значенням речовини V_D , що пройшла через лічильник δ , визначається за формулою:

$$\delta = \frac{(V_c - V_D)}{V_D \cdot 100}, \% \quad (1.3)$$

- Втрата напору — це різниця тисків, визначена за показаннями манометрів на вхідному та вихідному патрубках лічильника, яка зумовлена гідравлічним та механічним опором у його механізмі.
- Нижня межа вимірювань — мінімальна годинна витрата, за якої похибка показань і втрата напору не перевищують встановлені граничні значення.
- Верхня межа вимірювань — максимальна годинна витрата, при якій похибка показань і втрата напору залишаються в межах допустимих значень (експлуатація лічильника на верхній межі допускається лише при короткочасних пікових навантаженнях — загалом не більше однієї години на добу).
- Номінальна витрата — максимальна годинна витрата, за якої похибка показань не виходить за допустимі межі, а втрата напору не створює в приладі зусиль, що спричиняють швидкий знос третьових елементів та деталей.
- Поріг чутливості — мінімальна годинна витрата, при якій чутливий елемент приладу переходить в усталений режим руху, а лічильник починає відображати показання з допустимою точністю. Поріг чутливості характеризує тертя в механізмі лічильника, яке залежить від його конструктивних особливостей, якості виготовлення і складання, а також від фізико-

хімічних властивостей вимірюваної речовини.

- Ємність рахункового механізму — максимальна кількість речовини, яку може зафіксувати рахунковий механізм приладу.

У промисловості застосовуються швидкісні лічильники для контролю витрати рідких матеріалів. Принцип їх дії базується на вимірюванні кількості обертів, що накопичуються за певний відліковий проміжок часу. При цьому сумарна кількість обертів датчика N за відліковий інтервал часу пропорційна об'ємній кількості рідини V , яка проходить трубопроводом за той самий проміжок часу. Відповідно, рівняння вимірювання для швидкісних лічильників має вигляд:

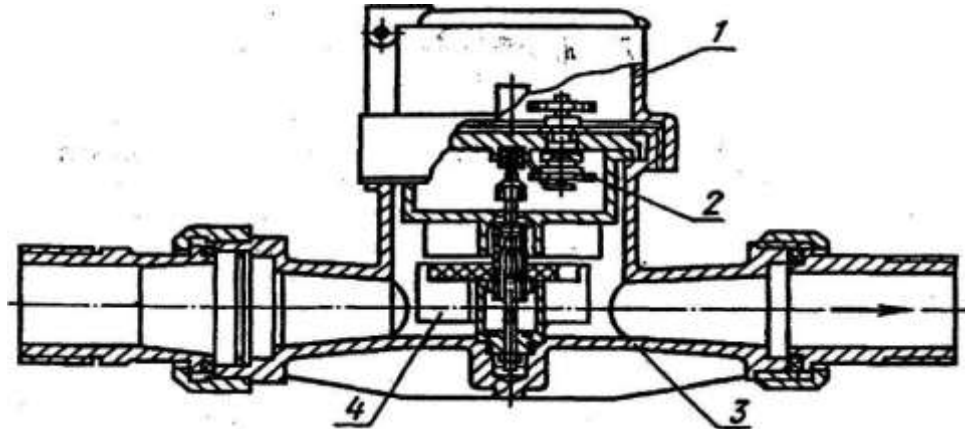
$$V = c \cdot N \quad (1.4)$$

де c - коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей лічильника, витрат та фізико-хімічних особливостей вимірюваної рідини.

Швидкісні лічильники виготовляються у двох основних конструктивних модифікаціях: із аксіальним та тангенціальним підключенням рідини до турбінного датчика приладу. Конструкція лічильника з аксіальним підведенням рідини зображена на рис. 1.1.

Послідовність роботи така: потік рідини, що надходить у прилад, вирівнюється за допомогою струменевипрямляча 5 та спрямовується на лопаті аксіальної турбінки 3, виконаної у вигляді багатозаходного гвинта. Обертання турбінки передається через черв'ячну пару 1 та передавальний механізм 6, розташований у корпусі 2, на рахунковий пристрій 7, обладнаний стрілочними індикаторами з розподілами, позначеними в літрах. Можливість зчитування показань безпосередньо в одиницях об'ємної кількості (а не у числі обертів турбінки) забезпечується шляхом регулювання передавального числа механізму 6 за допомогою підбору змінних шестерень і налаштування швидкості спеціальним регулювальним пристроєм 4. Конструкція приладу дозволяє повертати одну з радіальних перегородок струменевипрямляча відносно напрямку потоку. В результа-

на рис. 1.2. У таких лічильниках турбінка виготовляється у вигляді вертикальної прямолопастної пластини. Потік рідини подається по дотичній до кола, утвореного середнім радіусом пластин. Подача рідини на лопаті може здійснюватися одним струменем (в одноструменевих лічильниках) або кількома струменями (у багатоструменевих лічильниках).



1 - рахувальний механізм; 2 - передаточний механізм; 3 - корпус пристрою;
4 - турбінка

Рисунок 1.2 – Швидкісний лічильник с тангенціальною турбінкою

Конструктивна відміна багатоструйного лічильника від одноструменевого полягає в тому, що турбінку розміщують у циліндричну камеру (рис. 1.3).

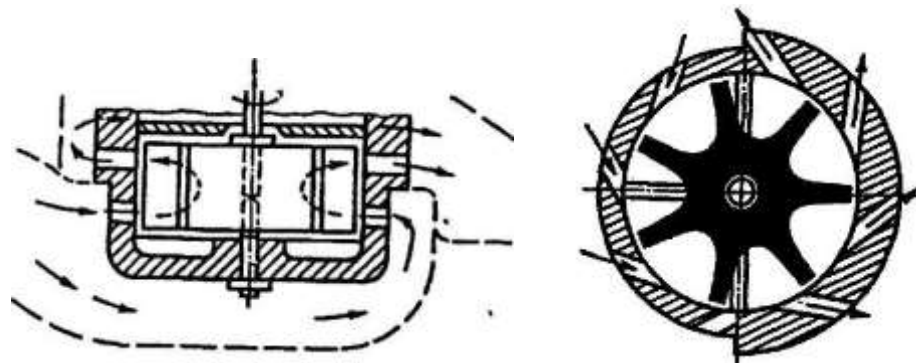


Рисунок 1.3 - Камера багатоструйного швидкісного лічильника
з тангенціальною турбінкою

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
12

Камера містить два ряди сопел, рівномірно розташованих по колу. Через нижній ряд сопел рідина подається на лопаті турбінки, а через верхній ряд (спрямований у протилежний бік) рідина відводиться з камери. У багатоструменевих лічильниках зі зворотним і прямим потоком рідини призначення сопел може змінюватися залежно від напрямку потоку.

Одноструменеві та багатоструменеві лічильники мають низку порівняльних переваг і недоліків. Так, одноструменеві лічильники простіші за конструкцією та забезпечують меншу втрату тиску. Проте вони менш надійні в експлуатації через односторонній знос опори та значне спотворення показань при забрудненні фільтрувальної сітки. У багатоструменевих лічильниках знос опори відбувається рівномірно, однак за того ж калібру турбінка в них має менший діаметр, обертається з більшою швидкістю та швидше зношується.

Основними експлуатаційними факторами, що суттєво впливають на точність вимірювання витрати турбінними витратомірами, є: зміна в'язкості вимірюваного середовища; закручування потоку та нерівномірний розподіл швидкостей, спричинені наявністю поблизу розташованих місцевих опорів; а також знос опор.

З огляду на це, такі прилади малоприсадибні для вимірювання витрати забруднених або абразивних середовищ, а також рідин, що суттєво змінюють свою в'язкість за умов експлуатації приладів.

Якщо не вжити відповідних заходів для часткової або повної компенсації впливу зазначених факторів, додаткові похибки, наприклад, унаслідок зміни кінематичного коефіцієнта в'язкості вимірюваного середовища всього лише на 10 %, можуть досягати 3 % і більше, а при близькому розташуванні 90-градусного коліна трубопроводу — 2–5 %.

Для зменшення впливу в'язкості застосовуються різноманітні пристрої (сітки, спиці), які встановлюються перед турбінкою та штучно турбулізують потік.

Вплив місцевих опорів, що спричиняють закручування потоку, значною

мірою усувається шляхом встановлення перед турбінним датчиком спеціальних напрямних або соплових апаратів. Завдяки цьому для нормальної роботи турбінних датчиків не потрібні настільки довгі прямі ділянки трубопроводу, як у випадку використання інших типів витратомірів.

Для вимірювання витрати газів турбінні витратоміри застосовуються відносно рідко. Це пояснюється тим, що обертовий момент на роторі турбіни у газових потоках, через їхню малу щільність, є значно меншим, ніж у рідинних потоках, що призводить до зниження чутливості приладу та звуження діапазону вимірювань. Крім того, високі швидкості газових потоків прискорюють знос опор.

Турбінні витратоміри мають досить добрі динамічні характеристики (постійна часу — 0,001 с), тому їх можна застосовувати для вимірювання миттєвих значень витрати у пульсуючих потоках.

У промисловості, крім зазначених вище лічильників, використовують також об'ємні лічильники. Принцип дії об'ємних лічильників рідин базується на підсумовуванні об'ємів рідини, що були витіснені з вимірювальної камери приладу за певний звітний проміжок часу.

Основними елементами об'ємних лічильників рідин є вимірювальна камера визначеного об'єму та конфігурації і розташований у ній робочий орган (поршень, диск, шестерні тощо). Робочий орган лічильника переміщується під дією різниці тисків на вході та виході вимірювальної камери під час протікання через неї вимірюваної рідини. За кожен цикл свого переміщення робочий орган витісняє визначений обсяг рідини, рівний V . Сумарне число переміщень N_c робітника органа фіксується рахунковим механізмом. За різницею показань рахункового механізму на початку та в кінці певного проміжку часу визначається об'ємна кількість рідини V_T , що протікає через прилад за цей проміжок часу.

Таким чином, загальне рівняння вимірювання для всіх об'ємних лічильників рідин визначається за формулою.:

$$V_T = V \cdot N_c \quad (1.5)$$

Залежно від конструктивних особливостей робочого органа (поршень, шестерні тощо), а також від типу руху, що здійснюється робочим органом під час роботи лічильника (поступальний, обертально-ротаційний, складний коливально-прецесійний, складний обертально-планетарний), об'ємні лічильники поділяються на:

- поршневі (циліндричні) — з поступальним рухом циліндричного поршня;
- поршневі (дискові) — з прецесійним рухом дискового поршня;
- поршневі (кільцеві) — з планетарним рухом кільцевого поршня;
- шестеренні (круглі) — з ротаційним обертанням круглих шестерень;
- шестеренні (овальні) — з ротаційним обертанням овальних шестерень;
- лопатеві (камерні) — з ротаційним обертанням лопатей, виконаних у вигляді камер;
- лопатеві (пластинчасті) — з ротаційним обертанням пластинчастих лопатей.

Відомою є конструкція лічильника ротаційного типу з круглими шестернями. На рис. 1.4 схематично зображено камеру лічильника з круглими шестернями.

Вимірювана рідина надходить у вхідний патрубок, обертає дві зубчасті шестерні та протікає у просторі, обмеженому зубцями шестерень і циліндричними поверхнями камери, після чого надходить у вихідний патрубок.

Обертання шестерень за допомогою передавального механізму передається на рахунковий індикатор. Вимірювальний об'єм такого лічильника (об'єм, витиснутий за повний оберт шестерень) визначається стінками камери, її поверхнею та западинами між зубцями шестерень.

Крім розглянутих вище лічильників, у промисловості широкого застосування набули також витратоміри для вимірювання витрати рідких і газоподібних речовин.

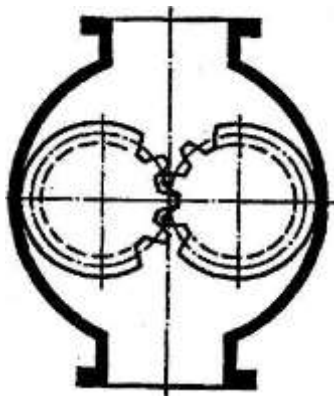


Рисунок 1.4 - Лічильник ротаційний з круглими шестернями

Відомий винахід належить до пристроїв для вимірювання витрати рідких і газоподібних середовищ і може застосовуватися для вимірювання витрати палива, що споживається двигуном внутрішнього згорання, а також картерних газів при визначенні технічного стану циліндро-поршневої групи. Метою винаходу є розширення діапазону вимірювань.

На рис. 1.8 показано запропонований витратомір. Витратомір складається з нерухомого порожнистого кільцевого сектора 1, що має у радіальному перерізі, наприклад, прямокутну форму, частково заповненого рідиною (водою).

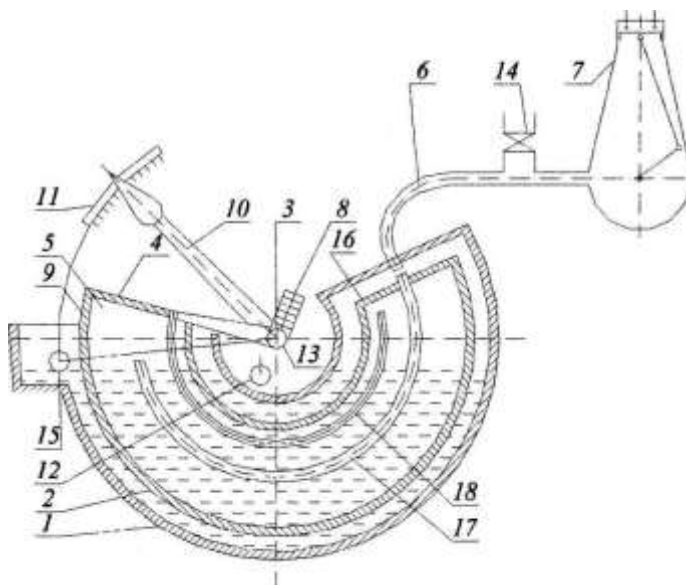


Рисунок 1.8 - Витратомір для виміру витрати рідких і газоподібних речовин

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
16

Усередині нерухомого сектора 1 розташований рухомий порожнистий кільцевий сектор 2, жорстко з'єднаний спицею з центральною віссю 3, яка обертається у нерухомих опорах. Рухомий сектор закритий днищем 4. Поверхня рідини разом із рухомим сектором 2 утворює замкнену порожнину 5, яка сполучена трубопроводом 6 з порожниною, що містить контрольовану речовину, наприклад, з порожниною 7 картера двигуна.

Попередньо, у порожнині нерухомого сектора 1, рухомий сектор 2 статично відбалансований, наприклад, за допомогою противаги 8. Статичне балансування необхідне для запобігання виникненню додаткового обертового моменту, викликаного дисбалансом, який діяв би на сектор 2 під час обертання та впливав би на тиск газів у замкнутій порожнині 5. У верхній частині циліндричної стінки рухомого сектора 2 передбачено вимірювальний отвір 9, що має, наприклад, форму щілини. Перед початком вимірювання цей отвір повинен бути повністю занурений у рідину. Ступінь відкриття отвору 9 є мірою миттєвої витрати газів.

Стрілка 10 та вимірювальна шкала 11 слугують для зчитування значень витрати за кутом повороту рухомого сектора 2, а отже — за ступенем відкриття отвору 9.

Рухомий сектор з'єднано з додатковою противагою — вантажем 12 за допомогою гнучкого троса, перекинутого через шків 13, встановлений на осі 3. Додаткова противага 12 створює постійний обертовий момент, який повертає рухомий сектор 2 у вихідне положення перед початком вимірювань, а також врівноважує активний момент, що виникає під дією тиску газів у порожнині 5 під час вимірювання витрати. Вентиль 14 призначений для випуску картерних газів в атмосферу до початку та після завершення вимірювань.

Для коригування нульового положення витратомір може бути оснащений коректором нуля у вигляді поплавця 15, з'єданого зі шкалою 11 та центральною віссю 3. Поплавець 15 компенсує зміну рівня рідини, наприклад, у разі її випаровування. З правого боку рухомий сектор 2 може бути закритий днищем

16. У середині рухомого сектора можуть бути розташовані два кільцеві канали 17 і 18. Канал 17 з'єднує простір над правим днищем 16 з простором під лівим днищем 4 рухомого сектора 2, а канал 18 — простір над лівим днищем 4 з простором під правим днищем 16.

Витратомір працює наступним чином. Витратомір сполучають із порожниною 7 картера двигуна через трубопровід 6. Відкривають вентиль 14. Запускають двигун і встановлюють необхідний швидкісний, навантажувальний і тепловий режими роботи, за яких рекомендовано здійснювати вимірювання витрати картерних газів.

Після закриття вентилля 14 припиняється витік картерних газів в атмосферу, і вони надходять через трубопровід 6 у замкнуту порожнину 5, створюючи у ній тиск, що достатній для додання моменту від додаткової противаги 12. Рухомий сектор 2 повертається на такий кут, при якому гази прориваються в атмосферу через частково відкритий вимірювальний отвір (щілину) 9. При цьому сила, що створюється тиском газів на днище 4 рухомого сектора 2, генерує момент, який врівноважує момент від додаткової противаги 12. Кут повороту рухомого сектора 2, який фіксується за допомогою стрілки 10 та шкали 11, є мірою витрати газів.

Вимірювальна шкала 11 може бути з'єднана з поплавцем 15, зануреним у рідину та обертовим навколо центральної осі. У такому випадку при зміні рівня рідини, наприклад, унаслідок випаровування, поплавець обертає шкалу на відповідний кут, здійснюючи автоматичне коригування нуля. Це забезпечується тим, що поплавець, занурений у рідину, встановлює задану відстань початкового відліку шкали від рівня рідини, оскільки початок шкали відповідає рівню поверхні рідини. Запропонована конструкція витратоміра дозволяє вимірювати миттєву витрату з високою точністю за дуже низького постійного тиску газів — не більше ніж 2 мм вод. ст. по всьому діапазону вимірювання. Це особливо корисно при вимірюванні витрати картерних газів двигуна, оскільки при цьому усуваються втрати газів через можливі нещільності картера, наприклад, через

сальники колінчастого вала, що дає змогу досягти високої точності у визначенні технічного стану циліндро-поршневої групи [3].

1.3 Аналіз існуючих технічних рішень і формулювання завдань для розробки пристрою

Ознайомившись із конструкціями та широким різноманіттям лічильників рідини, а також провівши патентний пошук аналогічних рішень, ми дійшли висновку, що частина з них є недоцільною для використання через низку параметрів: складність конструкції; значна похибка показань; обмежений термін експлуатації; низька надійність при роботі; висока собівартість виготовлення.

У нашому випадку необхідно застосувати просту, надійну в експлуатації конструкцію, яка забезпечуватиме мінімальну похибку показань за таких характеристик:

- Нижня межа вимірів $Q_{\min} = 10$ л/год
- Верхня межа вимірів $Q_{\max} = 75$ л/год
- Номінальна витрата $Q_{\text{ном}} = 100$ л/год
- Поріг чутливості $Q_{\text{чут}} = 5$ л/год

Для досягнення характеристик, зазначених вище, необхідно розробити конструкцію, яка забезпечуватиме відповідні значення нижньої та верхньої меж вимірювань, номінальної витрати та порогу чутливості. Пристрій повинен гарантувати мінімальну похибку показань при зміні температури та в'язкості вимірюваної рідини, а також мати найменші втрати напору, зумовлені гідравлічним та механічним опором у його механізмі. Конструкція має відзначатися високою надійністю, тобто несправності можуть виникати як рівноймовірно та без закономірного взаємозв'язку між собою, так і випадково — незалежно від інших несправних елементів.

Висновок до розділу 1.

Проведено огляд і аналіз пристроїв для вимірювання витрати рідин різних конструкцій. Окреслено їхні позитивні та негативні сторони. У розділі 1.3 сформульовано постановку задачі з розроблення пристрою для визначення витрати рідини.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ РЕЄСТРАЦІЇ ТА КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ РІДИНИ

2.1 Побудова структурної схеми роботи пристрою

Турбінний витратомір належить до класу тахометричних витратомірів, принцип роботи яких базується на залежності швидкості обертання перетворювального елемента (турбіни), встановленого у трубопроводі або у спеціальній вимірювальній камері, від витрати рідини.

Послідовність розміщення елементів у схемі залежить від типу схеми та складу елементів, які до неї входять. Сформуємо цю послідовність з урахуванням основних елементів та позначимо взаємозв'язки між ними.

Представимо цю послідовність у вигляді структурної схеми на рисунку 2.1, а також у графічній частині магістерської роботи. [БРМА 25.00.00.000 С1].

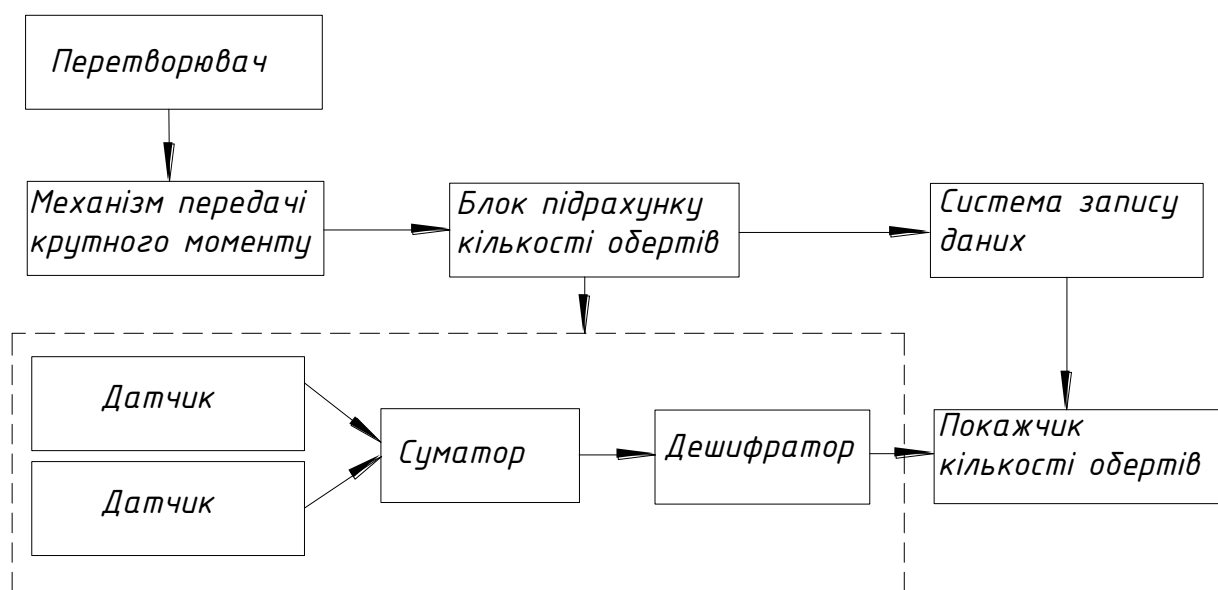


Рисунок 2.1 - Структурна схема послідовності елементів пристрою

До складу пристрою входять такі компоненти:

- перетворювач;
- механізм передавання крутного моменту;

- блок підрахунку кількості обертів перетворювача, який включає герконові датчики, суматор сигналів датчиків, дешифратор сигналів;
- система реєстрації даних про обсяг рідини з індикацією кількості рідини.

Охарактеризуємо кожен з елементів, що входять до складу пристрою для вимірювання витрати рідини.

Прилад (перетворювач) може бути виконаний у різних варіантах: об'ємний перетворювач; швидкісний перетворювач, які, у свою чергу, мають різні підтипи.

Враховуючи особливості, притаманні кожному з типів, ми відхилили ті конструкції, які, на нашу думку, є недоцільними для використання, і далі наведемо обґрунтування такого вибору.

Швидкісні лічильники виготовляють у двох основних конструктивних модифікаціях: з аксіальним і тангенціальним підведенням рідини до турбінного датчика приладу.

До недоліків турбінних витратомірів у наявних модифікаціях, які обмежують їх більш широке застосування, можна віднести: необхідність індивідуального калібрування, що вимагає наявності калібрувальних установок високої точності; вплив змін в'язкості вимірюваного середовища та гідродинамічних параметрів потоку на показання приладу; наявність механічного опору, що значно зменшує строк служби приладу (особливо при вимірюванні витрати абразивних середовищ), знижує точність у процесі експлуатації та призводить до необхідності частого повторного калібрування (коригування змінних у процесі експлуатації калібрувальних коефіцієнтів).

На сьогодні на ринку приладобудування розроблено й упроваджуються безконтактні турбінні витратоміри та турбінні витратоміри з пристроями автоматичної корекції показань при зміні в'язкості вимірюваного середовища, в яких два останніх недоліки усунено.

Такі прилади мають просту конструкцію, високу чутливість і широкий діапазон вимірювань (для окремих модифікацій співвідношення діапазону досягає

10:1 і більше), можливість вимірювання як дуже малих витрат (від $5 \cdot 10^{-9}$ м³/с), так і досить великих (до 1 м²/с), при цьому охоплюючи рідини з широким діапазоном фізико-хімічних властивостей. Вони мають низьку інерційність і, відповідно, забезпечують відносно малі динамічні похибки при вимірюванні середніх та миттєвих значень витрати.

До недоліків швидкісних лічильників, як уже зазначалося раніше, належить значна залежність їхніх показань від в'язкості рідини, що протікає через лічильник. Цей недолік значною мірою відсутній в об'ємних лічильниках, які застосовують для вимірювання кількості чистих промислових рідин, нафтопродуктів і зріджених газів, тобто середовищ із широким діапазоном змін в'язкості. Крім того, об'ємні лічильники забезпечують високу точність вимірювань (відносна похибка зазвичай не перевищує 0,5%) і достатній для практичного застосування діапазон вимірювань. Однак, як було згадано раніше, принцип роботи об'ємних лічильників базується на терті рухомих елементів, що значно скорочує їхній строк служби порівняно зі швидкісними лічильниками, а діапазон вимірювань є грубішим.

Отже, проаналізувавши наявні конструкції, ми дійшли висновку, що найбільш доцільним вибором перетворювачів для вимірювання кількості рідини є швидкісні лічильники.

2.1.1 Вибір механізму передачі крутного моменту

При виборі механізму передавання обертового моменту слід керуватися такими критеріями:

- забезпечення герметичності корпусу перетворювача;
- мінімальна похибка сигналів на вході та виході механізму;
- конструктивна простота механізму;
- зручність обслуговування та експлуатації;
- висока надійність протягом тривалого строку служби.

Існує багато варіантів конструкцій механізмів передавання обертального моменту, які були розглянуті в рамках патентного огляду. Проте більшість із них не застосовуються для передавання крутного моменту від перетворювача до рахункового механізму.

Розглянемо деякі з них. Була запропонована передача моменту за допомогою черв'ячної пари. Однак цей варіант є неприйнятним, оскільки призводить до порушення герметичності перетворювача, що може спричинити витік вимірюваної рідини. Крім того, через необхідність обертання вала, на якому закріплюється черв'ячне колесо, між валом і корпусом повинен бути зазор. До того ж, наявність черв'ячної пари всередині перетворювача впливає на швидкість потоку рідини, що його проходить.

Було також розглянуто пропозицію використання пружинного механізму для передавання моменту. Однак цей варіант, хоча і забезпечує герметичність перетворювача, є ненадійним через використання пружинних елементів, які мають обмежений ресурс.

Найбільш раціональною була визнана передача обертального моменту за допомогою магнітної муфти. Такий підхід дозволяє зберегти герметичність перетворювача, забезпечити мінімальну похибку на вході та виході механізму, спростити його конструкцію та забезпечити високу надійність в експлуатації.

Для підрахунку кількості обертів крильчатки було розглянуто різні варіанти блоків підрахунку. Запропоновано різні методи фіксації та реєстрації обсягу рідини, що пройшла через перетворювач. Відомо, що такі системи можуть бути виконані як у вигляді електронних, так і механічних систем запису.

Механічні системи зазвичай виконуються у вигляді послідовного ланцюга зубчастих пар із подальшим виведенням даних на механічні оцифровувальні барабани або цифрові табло. Недоліком такого рішення є втрати обертального моменту, оскільки кожна пара зубчастих коліс має власний коефіцієнт корисної дії (ККД), і навіть за високого ККД ці втрати стають відчутними.

Електронні системи реєстрації кількості рідини є більш ефективними,

оскільки вони не спричиняють втрат обертового моменту і забезпечують більш точний та стабільний підрахунок.

2.1.2 Блок підрахунку кількості обертів перетворювача

Блок підрахунку кількості обертів перетворювача складається з герконових датчиків, суматора сигналів від цих датчиків та дешифратора сигналів.

Датчики, в яких основним комутаційним елементом є геркон, називаються герконовими. Геркон — це магнітокерований контакт, який змінює свій стан (контакти замикаються або розмикаються) під впливом магнітного поля, створеного постійним магнітом або електромагнітом.

Конструкцію геркона представлено на рисунку 2.2. До складу геркона входять феромагнітні контакти, розміщені у вакуумній герметичній колбі або колбі, заповненій інертним газом. Відстань між контактами мінімальна — кілька часток міліметра, що забезпечує миттєве спрацювання під дією магнітного поля. Наявність інертного газу або вакууму допомагає запобігти окисненню контактів під час спрацювання та продовжує термін їхньої працездатності.

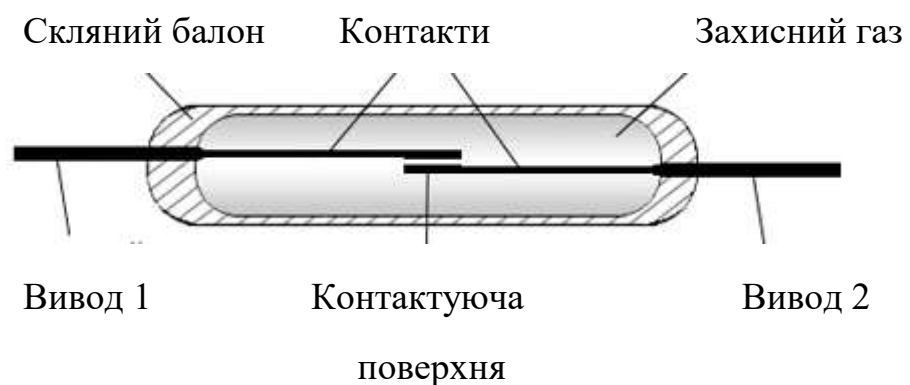


Рисунок 2.2 - Конструкція геркона

Герконові датчики можна класифікувати наступним чином:

- за функціоналом контактної групи: нормально-замкнуті; нормально-

розімкнені; перемикачі.

- за технологією виконання: із сухим контактом; із ртутним контактом.
- за типом монтажу у герконових датчиках: з нормально розімкненим контактом — за відсутності магнітного поля контактна група розімкнута, а під дією магнітного поля вона замикається; з нормально замкненим контактом — контакти залишаються замкнутими у нормальному стані, а при впливі магнітного поля розмикаються; у перемикаючого геркона, окрім двох основних контактів, присутній третій контакт, на який відбувається перемикання під дією магнітного поля. Таким чином, за допомогою такого геркона можна формувати два дискретні сигнали для індикації витрати рідини або для керування процесами регулювання потоків рідини.

За технологією виконання стандартним варіантом є геркон із сухим контактом (звичайний контакт), а у ртутному варіанті на контактній групі в колбі присутнє ртутне покриття, яке покращує комутаційні характеристики, зменшує ймовірність розтріскування контактів під час спрацьовування і збільшує строк служби геркона.

2.2 Розробка схеми реєстрації витрат витрати рідини

Розробимо схему технологічну реєстрації витрат рідини, яка представлена на рисунку 2.3 та у графічній частині бакалаврської роботи [БРМА 25.00.00.000 ДТ].

Основною частиною пристрою для реєстрації рідини є турбінка з лопатями, яка розташована у потоці рідини.

Ротор обертається під дією потоку рідини, що впливає на лопаті турбінки (перетворювача). Кутова швидкість обертання ротора є прямо пропорційною швидкості потоку рідини та об'ємній витраті. Считування інформації здійснюється за допомогою індуктивної котушки, розташованої за межами корпусу пристрою для вимірювання рідини та реагуючої на обертання ротора. Котушка має

магнітне осердя, яке формує магнітне поле. Лопаті ротора виготовлені з феромагнітного матеріалу. Під час проходження кожної лопаті повз датчик відбувається взаємодія з магнітним полем котушки, що спричиняє його збурення та, відповідно, генерує електричний імпульс у котушці.

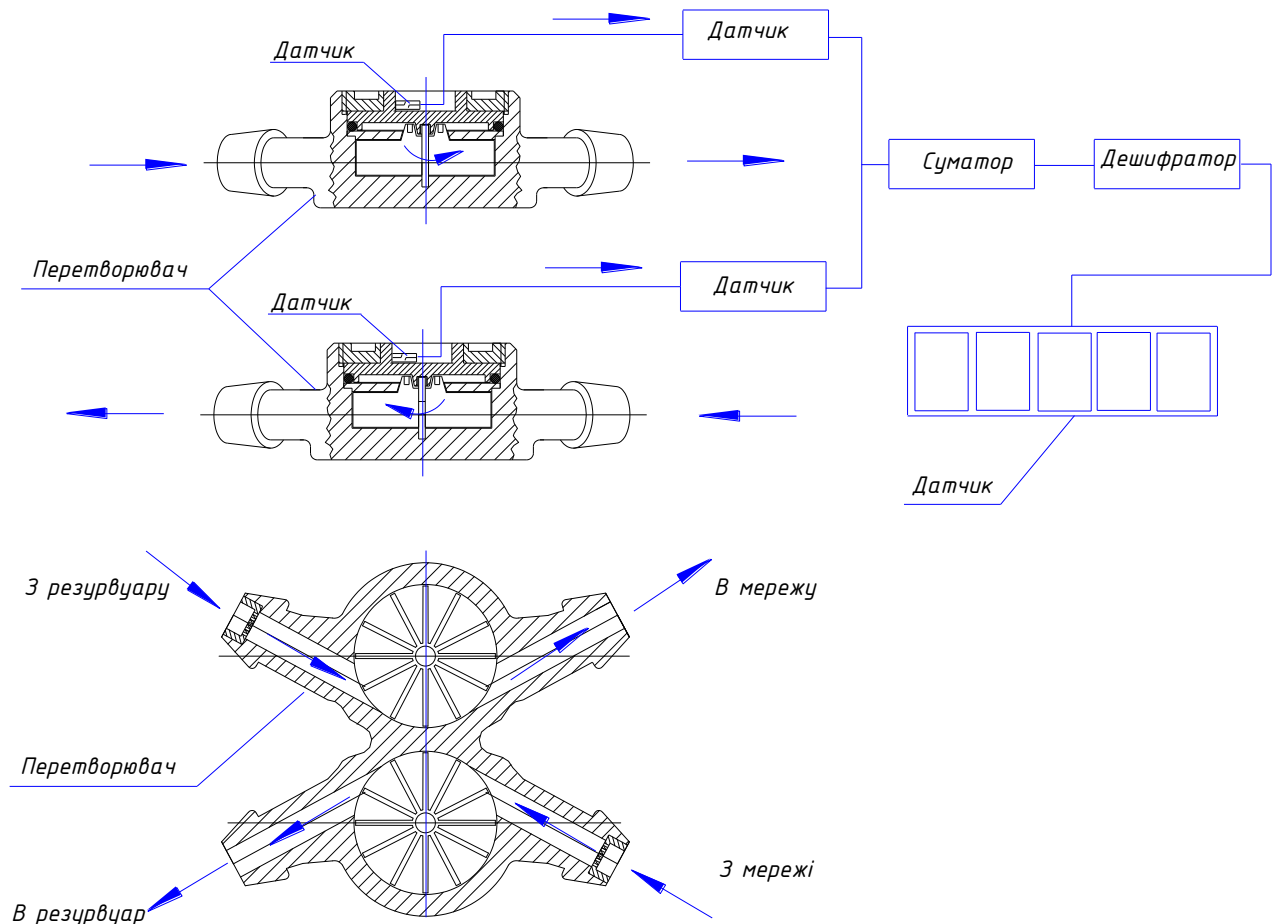


Рисунок 2.3 – Технологічна схема функціонування швидкісного реєстратора витрат рідини

Герконовий датчик, розташований поруч із індуктивною котушкою, починає спрацьовувати. Сигнал від датчика (замикання або розмикання контактів) передається до суматора, де здійснюється порівняння витрати рідини, що надходить з ємності, з витратою рідини, яка знову повертається до ємності. Після обробки сигналу в дешифраторі інформація передається на табло у вигляді цифрового показу.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

2.3 Опис пристрою для реєстрації витрати рідини та принцип його функціонування

Кінематична схема для реєстрації та керування витратами рідини представлена на рисунку 2.4.

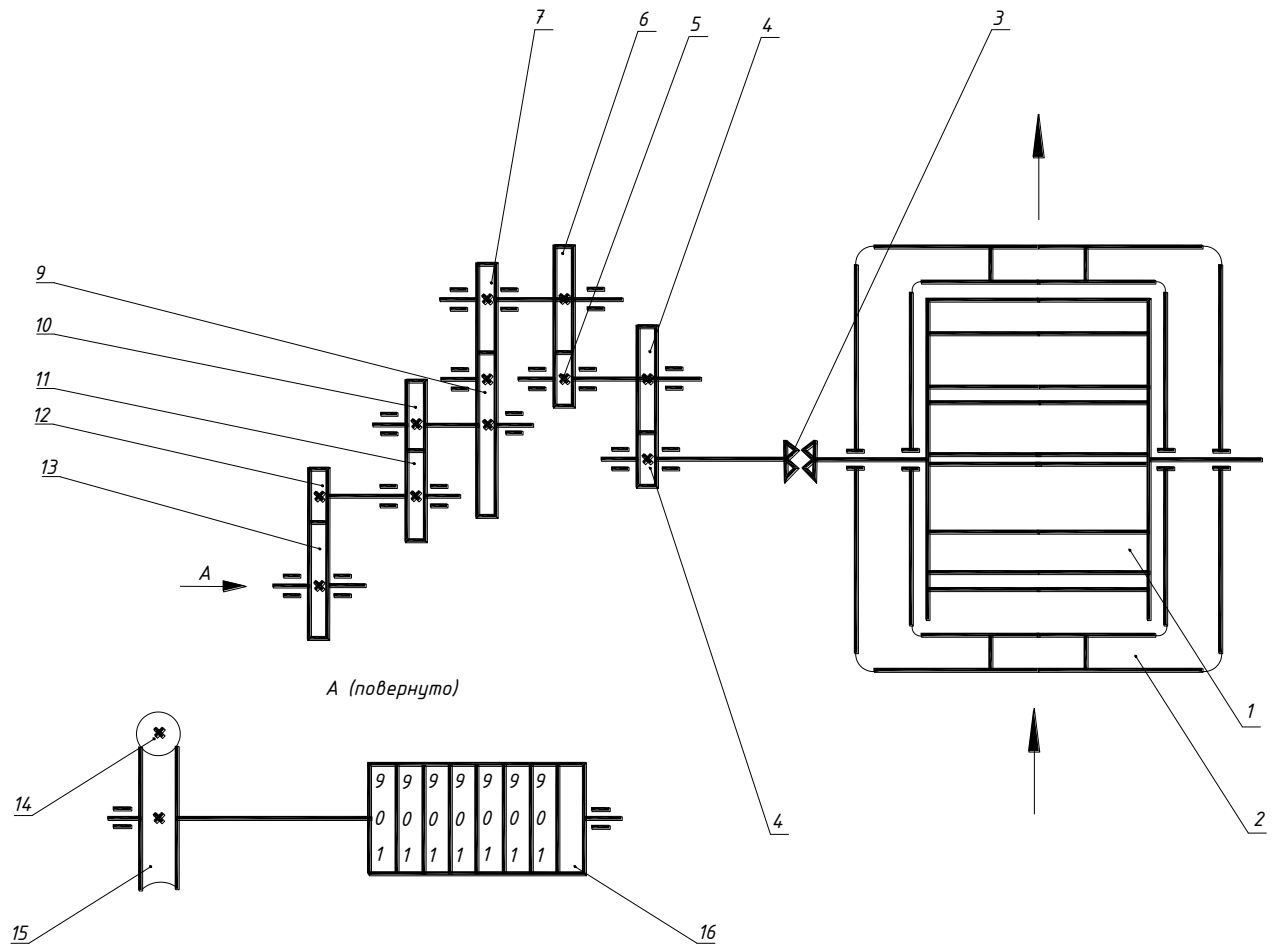


Рисунок 2.4 – Кінематична схема для реєстрації та контролю витрат рідини

Пристрій для вимірювання витрати рідини працює наступним чином. Рідина надходить у корпус перетворювача 2, приводячи в обертання основний елемент перетворювача 1 (крильчатку або турбінку). Обертальний момент передається до механізму передачі крутного моменту, виконаного у вигляді муфти 3. Переданий обертальний момент надходить до блоку підрахунку кількості обер-

тів перетворювача. Цей блок представлений кількома послідовно з'єднаними парами зубчастих коліс 4–13 та черв'ячною парою, що складається з черв'яка 14 та черв'ячного колеса 15. Далі інформація про кількість обертів надходить до системи реєстрації даних, яка виконана у вигляді барабанного циферблату 16.

2.4 Принципова електрична схема системи вимірювання витрати рідини

2.4.1 Розробка схеми підключення датчиків

Застосуємо схему підключення датчиків герконових до пристроїв для реєстрації витрат рідини, що зображена на рисунку 2.5.

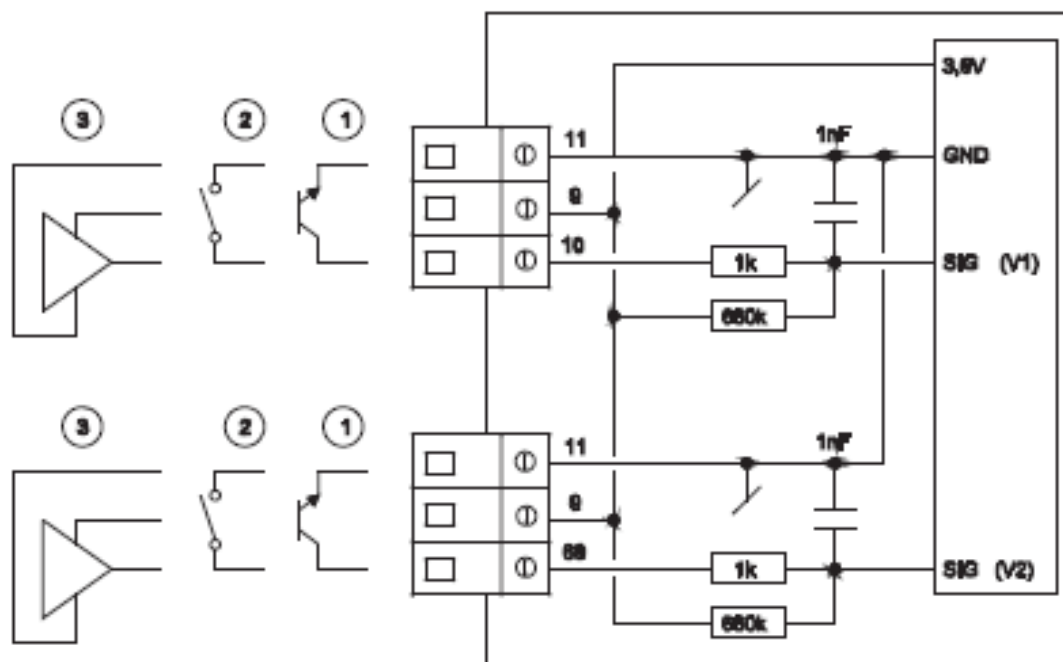


Рисунок 2.5 - Схема підключення герконових датчиків до пристрою

Дана система підключення підтримує до 4-х імпульсних входів, два з яких — V1 та V2 — використовуються для розрахунку спожитої енергії, контролю втрат, а також для підрахунку імпульсів, що надходять від пристроїв вимірювання витрати рідини або електроенергії [12].

Входи V1 та V2 можна використовувати для роботи з високочастотними імпульсами — понад 100 одиниць.

Ця система дозволяє підключати один або два витратоміри. У схемі з одним витратоміром завжди застосовується вхід V1, незалежно від того, де встановлено витратомір — у подаючому чи зворотному трубопроводі.

Стандартна плата підключення підтримує прийом імпульсів як від електронних, так і від механічних лічильників імпульсів.

Джерелом сигналу, що реагує на зміну витрати рідини, виступає геркон, встановлений на магнітоіндуктивному пристрої для вимірювання витрати рідини. Вхід V1 підключається до клем 10 (+) та 11 (-), вхід V2 — до клем 69 (+) та 11 (-). Клема 9 не використовується.

Струм витоків не повинен перевищувати 1 μA у положенні «ВИКЛ», максимальний опір складає 10 кОм у положенні «ВКЛ». Максимальна витрата вимірюється у діапазоні від 10 до 300 $\text{м}^3/\text{год}$.

2.4.2 Розробка схеми електричної принципової пристрою для вимірювання витрати рідини

Система даного пристрою включає також елементи автоматизації для підрахунку витрати рідини у системі. У графічній частині магістерської роботи [БРМА 25.00.00.000 ЕЗ] наведено електричну принципову схему пристрою, зображену на рисунку 2.5.

На схемі показано послідовну обробку даних, що надходять від перетворювача. Перетворювач повинен мати два входи та два виходи, що забезпечують передавання даних у схему. Необхідна чітка система послідовного передавання інформації, зокрема — об'єм рідини, що надійшла до пристрою, та об'єм рідини, що повернулася. Конструкцію необхідного нам перетворювача буде розроблено нижче.

В електричній принциповій схемі геркон 8P1 використовується для підра-

хунку кількості обертів крильчатки, що застосовується для визначення обсягу рідини, взятої з ємності. Тригер DD1.2 служить для усунення ефекту дрібного тремтіння (дребезгу) контактів геркону.

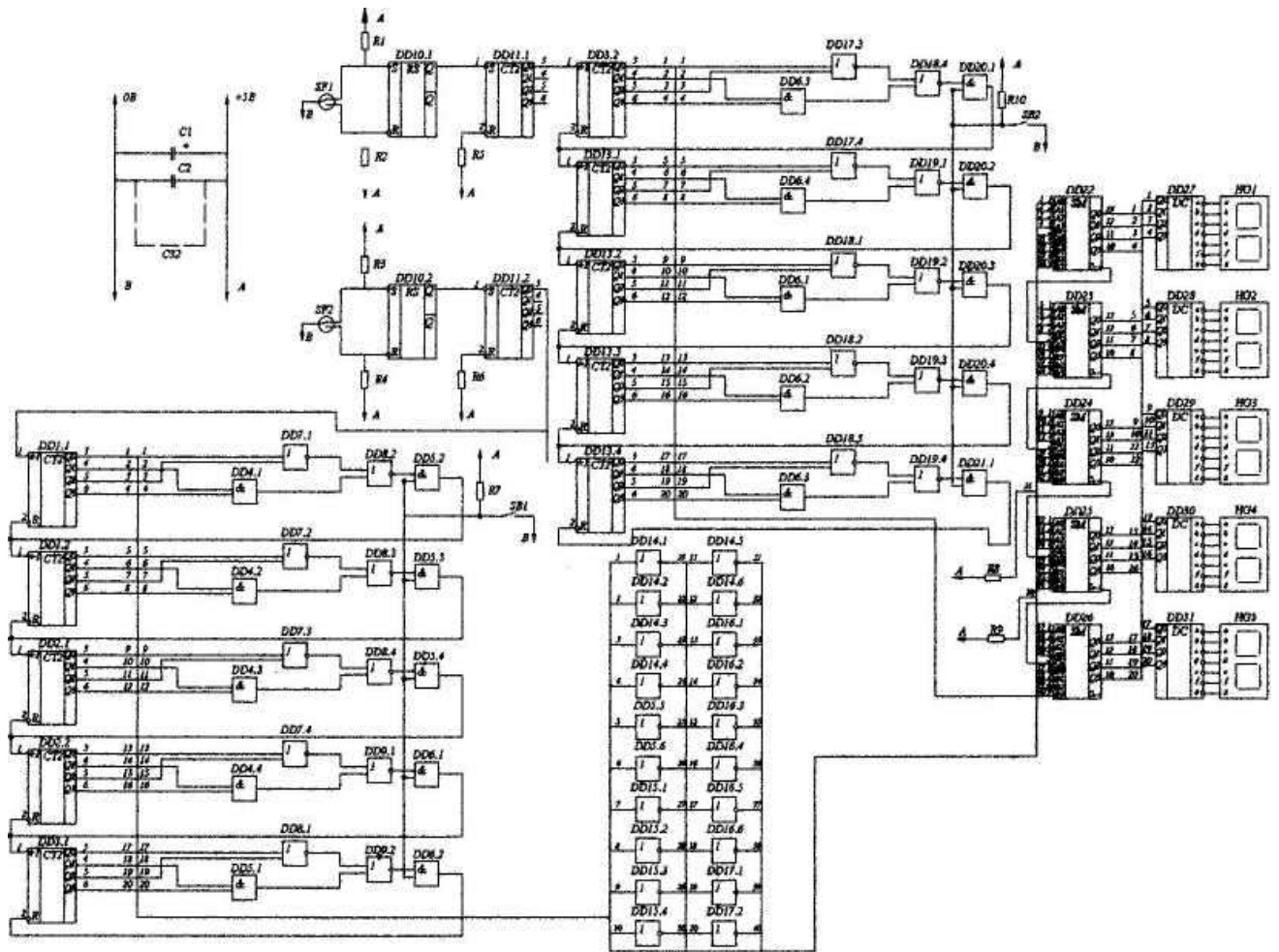


Рисунок 2.5 - Схема електрична принципова пристрою для реєстрації витрат рідини

Імпульси з тригера DD10.1 надходять на лічильник DD11.1, який ділить їх на 2. Лічильники DD3.1, DD3.2–DD3.4 призначені для підрахунку кількості палива, спожитого з бака. Логічні елементи І, АБО-НІ, І-НІ використовуються для обнулення лічильників після підрахунку 10 імпульсів.

Геркон 8P2 підраховує оберти крильчатки, яка використовується для підрахунку обсягу рідини, що повертається у бак.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

31

Тригер DD10.2 та лічильник DD11.2 виконують аналогічні функції, що й тригер DD10.1 та лічильник DD11.1. Лічильники DD3.1–DD3.4 обліковують кількість палива, поверненого до бака. Логічні елементи I, АБО-НІ, І-НІ також слугують для обнулення лічильників.

Інвертори виконують перетворення прямого числового коду у зворотний.

Суматори DD14.1–DD17.2 підсумовують значення з лічильників спожитого пального з бака та лічильників пального, що повернулося у бак. У результаті роботи суматорів отримується різниця між сумою спожитого та поверненого пального.

Дешифратори DD22–DD26 перетворюють отриманий двійковий код у код для керування індикаторами Н01–Н05.

У підсумку споживач отримує наочну інформацію про кількість спожитого пального.

Робота вимірювальної схеми показана на кресленні БРМА 25.00.00.000 ДТ. Схема функціонує наступним чином: рідина проходить через крильчастий перетворювач через вхідний отвір подачі рідини, спричиняючи обертання крильчатки. На крильчатці закріплено магніт, який разом із крильчаткою обертається і при кожному повному оберті замикає геркон. Геркон, у свою чергу, передає інформацію про кількість обертів на лічильник.

За аналогічним принципом працює інша частина перетворювача, але в цьому випадку напрямок руху пального змінений — від робочого органа до резервуара. Так само кількість обертів передається на лічильник через геркон.

Суматор приймає дані з обох лічильників і передає різницю кількості обертів на дешифратор, який перетворює двійковий код у код для керування індикаторами.

Висновки до розділу 2.

У цьому розділі розроблено структурну схему пристрою для контролю витрати рідини. Описано призначення кожного з елементів схеми, зокрема: перет-

ворювача для контролю витрати рідини, механізму передачі крутного моменту, блоку підрахунку кількості обертів перетворювача, що включає герконові датчики, суматор сигналів датчиків, дешифратор сигналів. Розроблено кінематичну та електричну схему пристрою для контролю витрати рідини.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		33

3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА РОБОЧОГО ЕЛЕМЕНТА ПРИЛАДУ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ВИТРАТИ

3.1 Порівняльний аналіз типів робочих органів: турбінка та крильчатка

Турбінні витратоміри (які також часто називають тахометричними) є одними з найточніших приладів для вимірювання витрати рідин. Приведена похибка вимірювання витрати турбінними витратомірами становить приблизно 0,5–1,0 % (існують моделі турбінних витратомірів із приведеною похибкою 0,1—0,2 %).

Ці прилади мають просту конструкцію, високу чутливість і широкий діапазон вимірювань (для окремих модифікацій — 10:1 і більше), можливість вимірювати як дуже малі (від 5–10 м³/с), так і досить великі (до 1 м³/с) витрати рідин із широким спектром фізико-хімічних характеристик, низьку інерційність і, як наслідок, відносно невеликі динамічні похибки під час вимірювання середніх та миттєвих значень витрати. Здебільшого їх застосовують у сферах, де до вимірювань пред'являються високі вимоги щодо точності, наприклад, у ракетній та авіаційній техніці.

До недоліків турбінних витратомірів наявних модифікацій, які стримують їх більш широке застосування, можна віднести: необхідність індивідуального калібрування, що потребує використання калібрувальних установок високої точності; вплив змін у в'язкості вимірюваного середовища та гідродинамічних параметрів потоку на показання приладу; наявність опорних елементів, що зношуються, що істотно зменшує строк служби приладів (особливо при вимірюванні витрати абразивних середовищ), знижує їх точність у процесі експлуатації та зумовлює необхідність частого повторного калібрування (уточнення змінних у процесі експлуатації калібрувальних коефіцієнтів).

Для здійснення процесу вимірювання турбінний витратомір (рис. 3.1) має складатися щонайменше з трьох елементів: турбінного первинного перетворю-

вача 3; вторинного перетворювача 4; суматора сигналів системи (реєстратора) 1. Турбінний перетворювач являє собою аксіальну або тангенціальну лопатеву турбінку, що спирається на підп'ятники або підшипники 2.

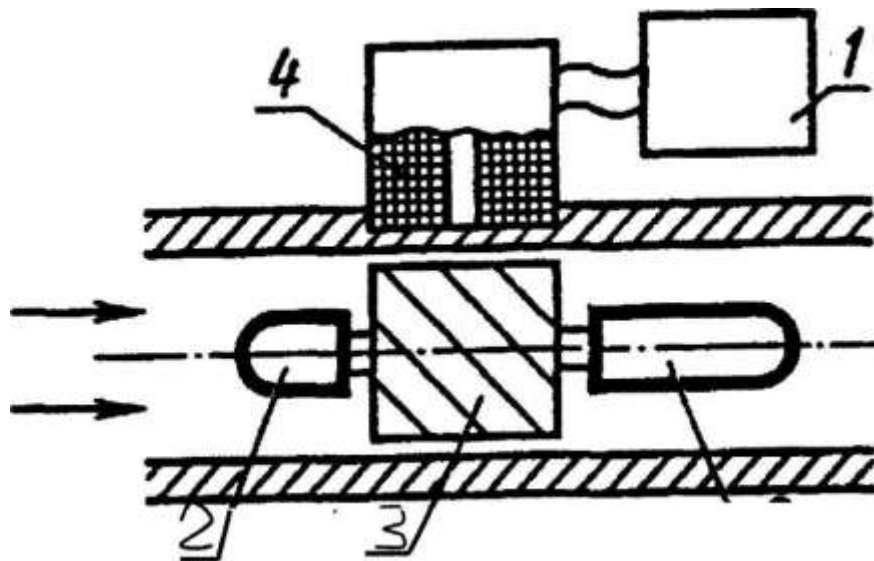


Рисунок 3.1 - Схема турбінного пристрою для реєстрації витрат рідини

Потік вимірюваного середовища (рідина), взаємодіючи з нахиленими лопатями турбінки, передає їй обертальний рух із певною кутовою швидкістю. ω , що пропорційна витраті Q .

Вторинний перетворювач 4, показаний на рисунку 3.1, являє собою індуктивну котушку. Під час перетинання магнітного поля котушки лопатями феромагнітної турбінки в котушці генерується пульсуючий електричний струм. Частота цих пульсацій прямо пропорційна кутовій швидкості обертання турбінки, а відповідно — і вимірюваній витраті.

Як вторинні перетворювачі також застосовуються індуктивні котушки, у яких обертання феромагнітної турбінки спричиняє періодичні зміни індуктивності, що викликає відповідні зміни одного з параметрів струму, який протікає через котушку. Крім того, у практиці використовуються й фотоелектричні еле-

менти.

Крильчасті витратоміри є одними з найточніших приладів для вимірювання витрати рідин (рис. 3.2). Приведена похибка вимірювання витрати турбінними витратомірами становить приблизно 0,8–1,2 % (проте існують моделі витратомірів із похибкою 0,2–0,3 %).

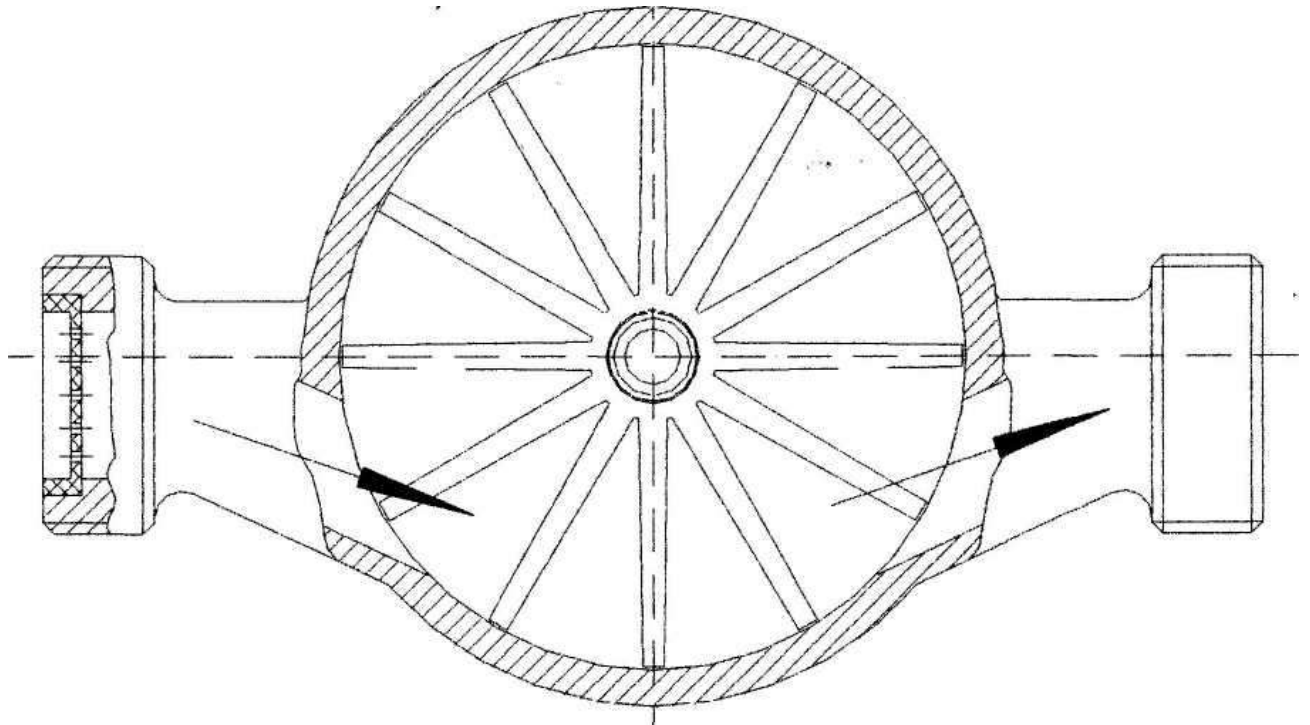


Рисунок 3.2 - Крильчастий витратомір.

Прилади мають просту конструкцію, характеризуються високою чутливістю та здатністю вимірювати як дуже малі (від 10^{-10} м³/с), так і досить великі (до 0,5 м³/с) витрати рідин із широким спектром фізико-хімічних властивостей. Завдяки низькій інерційності такі прилади демонструють відносно невеликі динамічні похибки під час вимірювання середніх і миттєвих значень витрати. В основному їх використовують для вимірювання витрати води та подібних рідин.

При виборі типу робочого органа необхідно керуватися такими критеріями:

- простота виготовлення механізму;
- мінімальна похибка робочого органа;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

36

- простота конструктивного виконання;
- зручність в експлуатації;
- висока надійність при тривалому терміні служби.

Проаналізувавши всі зазначені фактори, ми дійшли висновку, що найбільш придатним для використання в ролі робочого органа є крильчастий перетворювач. Це зумовлено його простотою як у виготовленні, так і в конструктивному виконанні, що позитивно позначається на експлуатаційних характеристиках. Крім того, цей варіант є більш зручним для ремонту. Завдяки простій конструкції крильчастий перетворювач має високу надійність, що забезпечує триваліший термін служби.

З огляду на мінімальну похибку робочого органа слід зазначити, що крильчастий перетворювач дещо поступається турбінному витратоміру, однак ця різниця не є критичною.

Враховуючи наведені вище фактори, крильчастий перетворювач отримує перевагу. У зв'язку з цим усі подальші розрахунки виконуватимемо для крильчастого перетворювача.

3.2 Проведення інженерних розрахунків для робочого органу

Початковими умовами, які необхідно задати перед початком розрахунку, є рекомендована частота замикання контактів геркона. N_G , тому що в зв'язку зі збільшенням цього числа можливе збільшення погрішності. Частота замикання контактів реєстратора - геркона прямопропорційна кількості обертів крильчатки перетворювача n . Тобто необхідно врахувати вираз:

$$N_G = n \cdot \varepsilon, \quad (3.1)$$

де ε - коефіцієнт, враховуючий особливості геркона.

Оскільки принцип роботи швидкісних лічильників базується на вимірюванні кількості обертів, що підсумовується за певний відліковий проміжок часу, при цьому сумарна кількість обертів датчика N за цей проміжок буде пропорційною об'ємній кількості рідини V , яка пройшла через трубопровід за той самий проміжок часу. Отже, для розрахунків використовуємо рівняння вимірювання швидкісних лічильників.

$$V = c \cdot N, \quad (3.2)$$

де c - коефіцієнт, у загальному випадку залежний від конструктивних особливостей лічильника, витрат і фізико-хімічних властивостей вимірюваної рідини.

Знаходимо кількість обертів за хвилину за умов максимальної та мінімальної витрати:

$$Q = V_n \cdot n, \quad (3.3)$$

де Q - витрата рідини, $\text{дм}^3/\text{хв}$;

Q_{\min} — витрата мінімальна (нижня межа реєстрації);

$$Q_{\min} = 75 \text{ л/год} = 1,25 \text{ дм}^3/\text{хв}.$$

Q_{\max} - витрата максимальна (верхня межа реєстрації) в $\text{дм}^3/\text{хв}$;

$$Q_{\max} = 5 \text{ л/год} = 0,16667 \text{ дм}^3/\text{хв}.$$

V_H - номінальний обсяг рідини, що пропускається, за один оберт крильчатки, з огляду на подальший підрахунок кількості рідини $V_H = 5 \text{ см}^3 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3$.

Тоді кількість обертів перетворювача при максимальному і мінімальному значенні витрати (верхня і нижня межа реєстрації) знаходимо:

$$n_{\min} = \frac{\beta \cdot Q_{\min}}{360 \cdot V_H} \quad (3.4)$$

$$n_{\min} = \frac{\beta \cdot Q_{\min}}{360 \cdot V_H} = \frac{136,5 \cdot 1,25}{360 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 94,79 \text{ об/хв.}$$

$$n_{\max} = \frac{\beta \cdot Q_{\max}}{360 \cdot V_H} \quad (3.5)$$

$$n_{\max} = \frac{\beta \cdot Q_{\max}}{360 \cdot V_H} = \frac{136,5 \cdot 0,16667}{360 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 12,64 \text{ об/хв.}$$

Частота замикання-розмикання контактів датчика геркона виконується по рекомендаціях наведених у [14].

Для подальшої розробки елементів конструкції крильчастого перетворювача необхідно виконати розрахунок основних елементів його конструкції.

Загальний об'єм перетворювача:

$$V_{\text{заг}} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot h_1, \quad (3.6)$$

де $V_{\text{заг}}$ - загальний об'єм камери крильчатки пристрою для реєстрації;

D_1 - діаметр камери пристрою для реєстрації;

h_1 - висота камери пристрою для реєстрації.

Загальний об'єм перетворювача (пристрою) враховує конструктивні еле-

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

менти. До конструктивних елементів, об'єм яких впливає на загальний об'єм перетворювача, належать крильчатка та елементи, розташовані в її внутрішньому просторі.

$$V_{заг-к} = V_{заг} - V_{к}, \quad (3.7)$$

де $V_{к}$ - об'єм крильчатки пристрою для реєстрації.

$$V_{к} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_2 + (l \cdot h_2 \cdot s) \cdot n, \quad (3.8)$$

де D_2 - діаметр основи крильчатки пристрою для реєстрації;

l - довжина крила пристрою для реєстрації;

s - ширина крила пристрою для реєстрації;

h_2 - висота крила пристрою для реєстрації;

n — кількість крил пристрою для реєстрації.

Робочий об'єм перетворювача пристрою для реєстрації:

$$V_{роб} = \frac{\beta \cdot V_{заг}}{360}, \quad (3.9)$$

де β - кут нахилу між вхідним і вихідним отвором перетворювача, $\beta = 136^\circ 30'$.

Загальний об'єм перетворювача, з урахуванням об'єму крильчатки та значень, отриманих із попередніх формул буде:

$$V_{заг-к} = \frac{\beta \cdot V_{заг}}{360} - \left(\frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_2 + l \cdot h_2 \cdot s \right) \cdot \frac{\beta}{360}. \quad (3.10)$$

У загальному випадку робочий об'єм перетворювача, з урахуванням об'єму крильчатки, дорівнює певному значенню. Враховуючи подальшу схему обліку кількості пального, це значення відповідає визначеному об'єму, і відповідно до попередньої залежності становить:

$$V_{роб-к} = V_{под} = c \cdot N = 5 \text{ см}^3.$$

Тоді із формули (3.10) знайдемо загальний об'єм перетворювача:

$$V_{заг-к} = \frac{360 \cdot V_{роб}}{\beta} \quad (3.11)$$

$$V_{заг-к} = \frac{360 \cdot 5}{136,5} = 13,2 \text{ см}^3.$$

Подальші розрахунки проводимо для виконання умови рівності розрахункового та отриманого об'ємів.

Виходячи з цієї умови, рівняння для визначення значення загального об'єму має вигляд: $V_{заг}$ необхідно врахувати розрахунковий об'єм крильчатки V_k . Об'єм крильчатки має становити 30 % від загального об'єму. Тоді, за рівнянням (4.4), визначимо загальний об'єм лічильника:

$$V_{заг} = V_k - V_{заг-к} = \frac{V_{заг-к} \cdot 30}{100} + V_{заг-к} \quad (3.12)$$

$$V_{заг} = \frac{13,2 \cdot 30}{100} + 13,2 = 17,15 \text{ см}^3.$$

Знайдемо розрахункові розміри елементів корпусу пристрою для вимірю-

вання витрати рідини.

До розрахункових розмірів корпусу належать висота і діаметр корпусу, а також діаметр вхідного та вихідного отворів для подачі та відведення рідини у робочу порожнину крильчатки.

Співвідношення діаметра та висоти рекомендується приймати:

$$D/h = 4/1 - 5/1. \quad (3.13)$$

Прийmemo попереднє значення висоти корпусу реєструючого пристрою $h_1 = 11 - 10,5$ мм; приймаємо середнє значення $h_1 = 10,8$ мм. Тоді, із огляду на формулу (3.11), знаходимо діаметр корпусу реєструючого пристрою:

$$D_1 = \sqrt{\frac{V_{заг} \cdot 4}{\pi \cdot h_1}} \quad (3.14)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{17,15 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,08}} = 4,497 \text{ см.}$$

Приймаємо заокруглене значення для виготовлення на виробництві $D_1 = 4,5$ см = 45 мм.

Виконаємо перевірку формули (3.13) з врахуванням попередніх розрахунків:

$$D/h = 45/10,8 = 4,16/1 \quad \text{- умова виконується.}$$

Розрахуємо робочі розміри елементів крильчатки реєструючого пристрою із урахуванням залежності (3.5) та виконаємо перевірку цієї умови за формулою (3.9), де V_k - об'єм крильчатки з (3.10);

$$V_{\kappa} = \frac{V_{\text{заг-к}} \cdot 30}{100} = \frac{13,2 \cdot 30}{100} = 3,96 \text{ см}^3.$$

Тоді із (3.11) отримаємо значення відповідних величин:

$$s = \frac{V - \left(\frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_2 \right)}{n \cdot h_2 \cdot l} \quad (3.15)$$

$$s = \frac{3,96 - \left(\frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 1 \right)}{12 \cdot 1 \cdot 1,8} = 0,16 \text{ см} = 1,6 \text{ мм},$$

де D_2 - діаметр основи крильчатки реєструючого пристрою, $D_2 = 8$ мм;

l - довжина крильчатки (крила) реєструючого пристрою:

$$l = (D_1 - D_2) / 2 - z \quad (3.16)$$

$$l = (45 - 8) / 2 - 0,5 = 0,18 \text{ см} = 18 \text{ мм};$$

де z - величина зазору між крильчаткою і циліндричною зовнішньою частиною корпусу реєструючого пристрою, $z = 0,5$ мм;

h_2 - висота крила (крильчатки). Виразимо h_2 за формулою:

$$h_2 = h - 2 \cdot z_1 = 1,08 - 2 \cdot 0,4 = 10 \text{ мм};$$

де z_1 - величина зазору між крильчаткою, верхньої і нижньої площиною основи корпусу реєструючого пристрою, $z_1 = 0,5$ мм [14];

n - кількість крил (крильчатки), $n = 12$ [14].

Виконаємо перевірку рівняння (3.10) стосовно критичного об'єму камери реєструючого пристрою:

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_2 + (l \cdot h_2 \cdot s) \cdot n \quad (3.17)$$

$$V_{кр} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 1 + (1,8 \cdot 1 \cdot 0,16) \cdot 12 = 3,96 \text{ см}^3.$$

$$V_{кр} - V_{к} = 3,96 - 3,96 = 0 - \text{ умова виконується.}$$

3.3 Вибір підшипникових вузлів для встановлення крильчатки

Приймаємо, що осьова і радіальна сили, які діють на вісь кріплення крильчатки будуть відповідно рівні:

- осьова сила чисельно рівна $F_a = 0,002 \text{ Н}$.
- радіальна сила чисельно рівна $F_r = mg = 0,12 \text{ Н}$.

Робимо висновок, що на кожний з двох підшипників діє радіальна сила $F_r / 2 = 0,06 \text{ Н}$.

Виберемо радіальний однорядний шарикопідшипник 1000084 ДСТУ ISO 15:2018 [10]. За своїми конструктивними параметрами дані підшипники відповідають вимогам до об'єму перетворювача та розмірів крильчатки.

Геометричні розміри та технічні характеристики підшипника: $d = 4 \text{ мм}$, $D = 8 \text{ мм}$, $B = 2,5 \text{ мм}$, $r = 0,2 \text{ мм}$, $D_w = 1,30$, $Z = 9$, $C = 540 \text{ Н}$, $C_0 = 186 \text{ Н}$, $n_{\text{граничне}} = 45000 \text{ хв}^{-1}$ - при пластичному мастильному матеріалі та $n_{\text{граничне}} = 3000 \text{ хв}^{-1}$ - при рідкому мастильному матеріалі, маса $m = 0,010 \text{ кг}$.

Осьова сила, яка порівняно з радіальною є незначною, тому її можна знехтувати, а еквівалентне навантаження на підшипник становитиме: $F_r/2 = 0,06 \text{ Н}$.

Динамічна підшипника вантажопідйомність визначається за такою формулою:

$$C = \frac{F_r \cdot L^{1/3}}{2} \quad (3.17)$$

$$L \cdot 10^6 = L_h \cdot 60 \cdot n \quad (3.18)$$

де L_h – кількість мотор-годин, яку підшипник пропрацює до відмови.
 n – число обертів вала крильчатки реєструючого пристрою за хвилину.

Прийmemo $L_h = 5000$ годин. [10]

$$n = 5 \cdot 60 = 300 \text{ обертів / хв.}$$

$$L = 5000 \cdot 60 \cdot 300 / 10^6 = 90 \text{ годин}$$

Отже, $C = 0,06 \cdot (90)^{1/3} = 0,26 \text{ Н} < 540$, то підшипники придатні для даного пристрою для реєстрації рідини.

3.4 Обчислення параметрів індукційного датчика

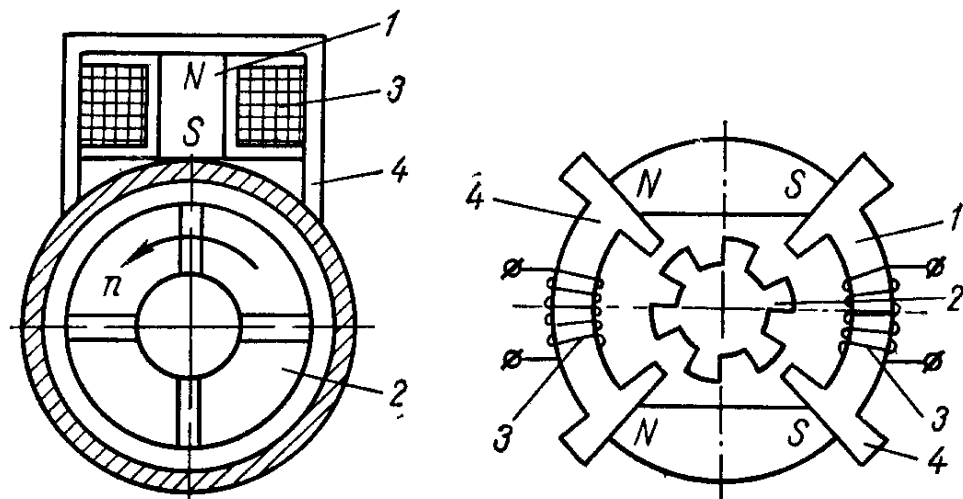
Тахометричні датчик(пристрої) призначені для перетворення швидкості обертання ротора в електричний сигнал. Розрізняють такі типи перетворення сигналів: частотні, амплітудні та фазові.

Для даного пристрою реєстрації витрати рідини застосовуються індукційні вторинні перетворювачі із нерухомим магнітом. При цьому магнітний ланцюг

складається з феромагнітного ротора та зовнішнього магнітопроводу статора, на якому розташована індукційна обмотка.

Під час обертання ротора відбувається періодична зміна магнітного опору ланцюга, що, у свою чергу, змінює величину магнітного потоку, який пронизує обмотку. Це зумовлює виникнення змінної електрорушійної сили в обмотці. Якщо кількість магнітопровідних лопаток крильчатки перетворювача дорівнює n , то за один повний оберт магнітний опір зміниться Z раз, а в обмотці з'явиться Z імпульсів струму. [16].

Схема індукційного вторинного перетворювача із нерухливим магнітом представлена на рисунку.



1 – магніт; 2 – ротор первинного перетворювача; 3 – обмотка; 4 – статор
Рисунок 3.3 – Індукційні тахометричні пристрої для вимірювання витрат рідини з нерухомим магнітом

Визначаємо максимальний діаметр магніту пристрою для вимірювання витрат рідини [16].

$$d_{\max} = (0,19 \dots 0,15) (B_{\text{гран}} \cdot s \cdot b \cdot \delta^2)^{1/4} \quad (3.19)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

де $B_{гран}$ – максимальне значення індукції, що допускається при дії на лопать;

s, b – товщина та ширина лопасті пристрою;

δ - зазор між торцем магніту та лопастью пристрою. Приймаємо зазор $\delta = 4$ мм.

$$B_{гран} = 15000 \text{ Гс} = 1.5 \text{ Тл} [16].$$

$$d_{\max} = (0,19 \dots 0,15) (1500 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,8^2)^{1/4} = 12,4 \text{ мм.}$$

Визначаємо оптимальну довжину магніту L пристрою для реєстрації рідини.

Обчислимо співвідношення зазору між торцем магніту та граничного діаметра магніту δ / d_{\max} .

$$4 / 12,4 = 0,32.$$

По кривій залежності, що описана у [16] $\frac{L}{\delta} = f\left(\frac{\delta}{d}\right)$ визначаємо відношення $\left(\frac{L}{\delta}\right)_{\text{opt}} = 2,6$.

Визначаємо довжину котушки магніта:

$$L = \left(\frac{L}{\delta}\right)_{\text{opt}} \cdot \delta \quad (3.20)$$

$$L = 2,6 \cdot 4 = 10,4 \text{ мм.}$$

Для обчисленої довжини котушки магніта, визначимо оптимальну кількість лопатей (крильчаток), що забезпечує найбільше значення електрорушійної сили (ЕДС) [16].

$$n_{opt} = \frac{180}{\arcsin \left(\frac{(1,9L^2 - \delta^2)^{1/2}}{D_p(D_p + 2\delta)} \right)}, \quad (3.21)$$

де D_p - діаметр крильчатки (ротора) реєструючого пристрою. Конструктивно приймаємо $D_p = 0,5D_k / (0,5 + z)$. $D_p = 0,5 \cdot 44 / (0,5 + 0,5) = 22$ мм.

$$n_{opt} = \frac{180}{\arcsin \left(\frac{(1,9 \cdot 10,4^2 - 4^2)^{1/2}}{22(22 + 2 \cdot 4)} \right)} = 3,8$$

Вибираємо уточнене значення лопатей пристрою із урахуванням вище проведених розрахунків.

Вибираємо матеріал магніту пристрою за співвідношенням довжини і діаметру L/d . Рекомендується при значенні $L/d < 5$ використовувати матеріал ЮНДК-25БА, який має значну коерцитивну силу [16].

Величина первинного сигналу залежить від кількості витків обмотки. Проте, із збільшенням кількості витків зростає електрорушійна сила обмотки (ЕДС). Водночас збільшується активний та індуктивний опори генератора, що призводить до зниження вихідного сигналу [16].

Знаходимо індуктивний опір обмотки магніту [16]:

$$X_O = 1,95 \cdot \pi \cdot f \cdot d \cdot W \cdot (\mu_g / L' + 1 / KL) 10^{-8} \quad (3.22)$$

де f – частота електрорушійної сили (ЕДС); $f = n \cdot z = 4 \cdot 4 = 16$ 1/с;

W – кількість витків обмотки магніта для пристрою;

μ_b – магнітна проникність матеріалу; $\mu_b = 24,6$ [16]

Відносна довжина магніту пристрою визначається із урахування попередньо визначених значень:

$$L' = L / d \quad L' = 18,4 / 12,4 = 1,48 \quad (3.23)$$

Коефіцієнт $KL = 6$ – вибирається за графіком $KL = f(L')$, виходячи із конструктивних параметрів корпусу котушки магніта: $D_k / d = 6$, D_k – зовнішній діаметр котушки магніта. [16].

Задаємо $X_o = 100$ Ом, тоді $W = 4048$ витків.

Обмотку котушки будемо виготовляти із мідного дроту, що ізольована лаком. Діаметр дроту 0,2 мм, а діаметр дроту по ізоляції рівний 0,24 мм.

Зовнішній діаметр котушки визначимо, виходячи з того, що її висота дорівнює довжині магніту (18 мм), а внутрішній діаметр становить суму діаметра магніту та двох стінок товщиною по 1 мм: $6,7 + 2 \times 1 = 8,7$ мм.

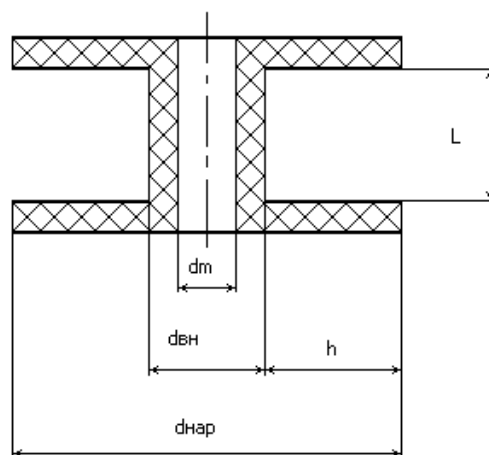


Рисунок 3.4 – Геометричні розміри котушки індуктивності пристрою

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

49

Висота намотування дроту L - рівна довжина магніту - мінус дві товщини фланців котушки ($L = 16$ мм).

Кількість витків дроту, які укладаються по довжині L дорівнює:

$$n = L / d_{np}, \quad (3.24)$$

де d_{np} – діаметр дроту для намотування із ізоляцією.

$$n = 16 / 0,24 = 66,7.$$

Приймаємо кількість витків $n = 66$.

Визначимо кількість шарів дроту для намотування.

$$s = W / n, \quad (3.25)$$

де W – загальна кількість витків для намотування.

$$s = 4048 / 66 = 61,3.$$

Приймаємо кількість шарів дроту для намотування $s = 62$ шари.

Визначимо товщину для намотування h за формулою:

$$h = s \cdot d_{np}. \quad (3.26)$$

$$h = 62 \cdot 0,24 = 14,88 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину для намотування $h = 15$ мм.

Визначимо зовнішній діаметр котушки для намотування дроту.

$$d_{зовн} = d_{вн} + 2 \cdot h \quad (3.27)$$

$$d_{зовн} = 8,7 + 2 \cdot 15 = 38,7 \text{ мм.}$$

Оскільки при намотуванні проводу витки не лягатимуть ідеально рівно, зовнішній діаметр котушки слід приймати з певним запасом. Враховуючи, що кришка котушки виготовлятиметься зі стандартної труби, вибираємо зовнішній діаметр котушки — 44 мм.

Довжина проводу обмотки

$$l = d_{cp} \cdot W \cdot 3,14 / 1000 \text{ [м]}, \quad (3.28)$$

де $d_{cp} = (d_{вн} + d_{зовн}) / 2$

$$l = 26,35 \cdot 4048 \cdot 3,14 / 1000 = 336 \text{ м.}$$

Опір обмотки котушки визначаємо за формулою:

$$r = \rho_0 \cdot l / S, \quad (3.29)$$

де ρ_0 – питомий опір міді, вибираємо $\rho_0 = 0,01725 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$;

S – площа торцевого перерізу дроту, визначаємо підставляючи діаметр дроту $S = 3,14 \cdot 0,12 = 0,0314 \text{ мм}^2$.

Тоді опір буде рівний $r = 0,01725 \cdot 336 / 0,0314 = 185 \text{ Ом}$.

Приймаємо $R_n = Z_n = 1000 \text{ Ом}$.

3.5 Аналіз похибок і сил тертя в опорах

Момент тертя двох кулькових підшипниках, один з яких навантажений осьовою силою визначаємо за формулою [19]:

$$M_1 = [3,6 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 (1+10^{-3}n) + 7,7 \cdot 10^{-5} v^2] (1 + 2P) + 5 \cdot 10^{-9} D^4 v^{0,5} n, \text{ Н м} \quad (3.30)$$

де P – осьове зусилля, яке припадає на підшипник від маси рухомих частин пристрою, кг;

n – число обертів робочого колеса вибираємо із попередніх розрахунків, об/хв;

D – зовнішній діаметр підшипника, мм. Приймаємо, виходячи із попередніх конструктивних розрахунків. Вибираємо із [19].

v - кінематичний коефіцієнт в'язкості мастила підшипника, ссГ.

$$M_1 = [3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 92 (1+10^{-3}n) + 7,7 \cdot 10^{-5} 0,692] (1 + 2 \cdot 0,0002) + 5 \cdot 10^{-9} 94 0,690^{0,5} n = [0,29 (1+10^{-3}n) + 3,67 \cdot 10^{-5}] + 2,72 \cdot 10^{-5} \cdot n = (0,29 + 3,17 \cdot 10^{-4} n) 10^{-5}, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Із формули видно, що доданок, залежний від кількості обертів за хвилину, у даному діапазоні вимірювань є величиною на кілька порядків меншою за постійний доданок. Отже, у нашому випадку можна вважати, що момент є сталою величиною.

$$M_1 = 0,29 \cdot 10^{-5}, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

3.7 Загальна компоновка пристрою для реєстрації витрат рідини

Використовуючи проведені розрахунки елементів пристрою для реєстрації витрат рідини, проводимо компонування пристрою. Загальний вигляд приведений на рисунку 3.3 та у графічній частині бакалаврської роботи [БРМА 25.00.00.000 ВЗ].

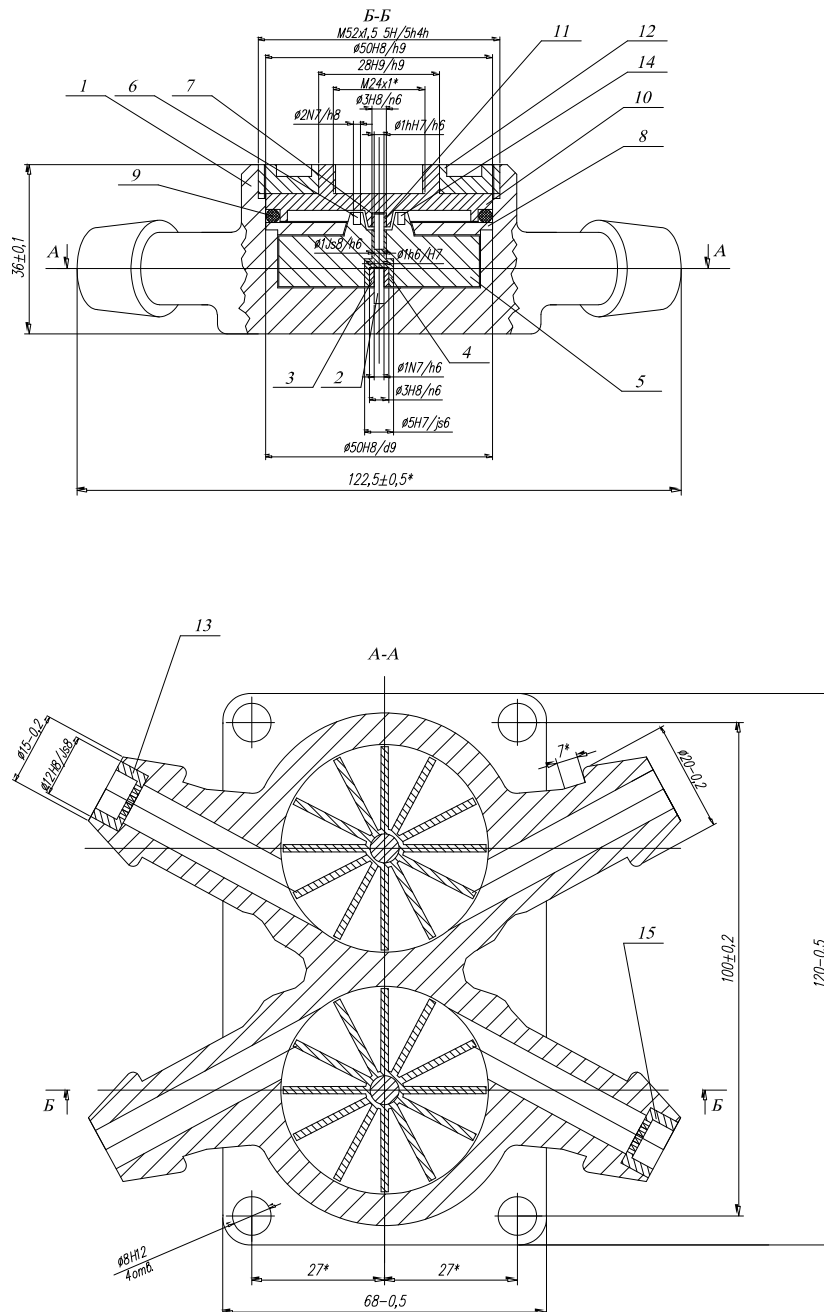


Рисунок 3.1 - Компоновання пристрою для реєстрації витрат рідини

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

53

3.8 Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою

У процесі проектування, слід також визначати імовірність безвідмовної роботи з'єднань. Тому, будемо розглядати імовірності безвідмовної роботи на прикладі з'єднання з натягом.

Визначимо імовірність безвідмовної роботи з'єднання Ø12 H8/n6 за критерієм міцності зчеплення.

Середні значення N і коефіцієнта варіації ν_N натягу визначаємо по [7] в залежності від допусків діаметрів вала й отвору $t = t_e = t = 14$ мкм, а також нижнього відхилення діаметра вала $ei = 10$ мкм (значення вибираємо по таблицях допусків).

$$N = ei = 14 \text{ мкм.} \quad (3.31)$$

$$\nu_N = \sqrt{2}t / 6ei = \sqrt{2} \cdot 14 / 6 \cdot 10 = 0,44. \quad (3.32)$$

Виправлення на мікронерівності визначаємо за формулою [20]:

$$u = 1,2 \cdot (R_{z1} + R_{z2}) = 1,2 \cdot (2 + 5) = 8,4 \text{ мкм,} \quad (3.33)$$

де $R_{z1} = 2$ мкм.; $R_{z2} = 5$ мкм. - висота мікронерівностей посадкових поверхонь пристрою [20].

Коефіцієнт співвідношення діаметрів φ знаходимо за формулою [20];

$$\varphi = \frac{1 + (d/D)^2}{1 - (d/D)^2} = \frac{1 + (2/5)^2}{1 - (2/5)^2} = 1,38, \quad (3.34)$$

де d - діаметр з'єднання вал-втулка; $d = 12$ мм.

D - зовнішній діаметр кришки в області з'єднання; $D = 15\text{мм}$.

Середнє значення тиску на посадочній поверхні знаходимо згідно [20]:

$$p = \frac{(N - u) \cdot E \cdot 10^{-3}}{d(1 + \varphi)} = \frac{(10 - 8,4) \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{2(1 + 1,38)} = 70,6 \text{ МПа}; \quad (3.35)$$

де $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа - модуль пружності матеріалу для сталі [16].

Коефіцієнт варіації тиску у з'єднанні p знаходимо по формулі із джерела [20]:

$$\nu_p = \nu_N \frac{1}{(1 - u/N)} = 0,33 \cdot \frac{1}{(1 - 8,4/10)} = 0,206. \quad (3.36)$$

Середнє значення та коефіцієнт варіації у посадковому з'єднанні по міцності зчеплення моменту знаходимо по формулі [20]:

$$T_{\text{lim}} = 0,5 \pi d^2 l p f \frac{1}{K} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 2^2 \cdot 3 \cdot 70,6 \cdot 0,12 \cdot \frac{1}{1,5} = 106,4 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.37)$$

де l - довжина посадкової поверхні з'єднання, $l = 13$ мм;

f - коефіцієнт тертя у з'єднанні, $f = 0,12$;

K - коефіцієнт, що враховує зменшення тиску з часом напрацювання зєднання [7];

Враховуємо всі вищеперераховані чинники по джерелі [20]:

$$v_{\text{lim}} = \sqrt{v_p^2 + v_f^2} = \sqrt{0,206^2 + 0,1^2} = 0,23, \quad (3.38)$$

де $v_f = 0,1$ - коефіцієнт варіації коефіцієнта тертя у з'єднаннях пристрою [20].

Коефіцієнт запасу міцності у відповідних з'єднаннях визначимо [20]:

$$n_c = T_{\text{lim}} / T = 106,4 / 50 = 2,13, \quad (3.39)$$

де $T = 50$ Н·м - задане нормальне розподілення обертового моменту у з'єднанні при виконанні роботи.

Квантиль нормованого нормального розподілу функції знаходимо з [20]:

$$U_p = \frac{n_c - 1}{\sqrt{n_c v_{\text{lim}} + v_T^2}} \quad (3.40)$$

$$U_p = \frac{2,13 - 1}{\sqrt{2,13^2 \cdot 0,23^2 + 0,06^2}} = -4,64$$

Імовірність безвідмовної роботи P_c за критерієм міцності зчеплення, визначена по [20] у залежності від U_p дорівнює $P_c = 0,9999 = 99,99\%$.

Визначимо імовірність роботи до відмови з'єднання у пристрої за критерієм міцності охоплюваної деталі.

Середнє значення та коефіцієнт варіації достеменної напруги у посадочній поверхні зовнішнього діаметра кришки знаходимо за формулою [20]:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{2p}{1 - (d/D)^2} \quad (3.41)$$

$$\sigma_{екв} = \frac{2 \cdot 70,6}{1 - (2/5)^2} = 186,1 \text{ МПа}$$

$$v_{екв} = v_p$$

Коефіцієнт запасу міцності у з'єднанні за середніми напруженнями [20]:

$$n_m = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} \quad (3.42)$$

де $\sigma_t = 580 \text{ МПа}$ - середнє значення межі міцності матеріалу охопленої деталі [20].

Квантиль нормованого розподілення визначаємо за формулою:

$$U_{II} = \frac{n_{II} - 1}{\sqrt{n_{II} v_t + v_{екв}^2}} \quad (3.43)$$

$$U_{II} = \frac{3,45 - 1}{\sqrt{3,45 \cdot 0,06^2 + 0,206^2}} = -8,38$$

Імовірність безвідмовної роботи P_c за критерієм міцності зчеплення, визначена по [20] у залежності від U_{II} дорівнює $P_c = 0,9599 = 95,99\%$.

Висновки до розділу 3.

У цьому розділі виконано конструювання робочого органа пристрою для вимірювання витрати рідини. Зокрема, були розглянуті різні варіанти виконання робочих органів — турбінки та крильчатки — та обрано оптимальні з них. Проведено розрахунки робочих елементів пристрою (перетворювача) для вимірювання витрати рідини.

Вибрано відповідні підшипники для кріплення крильчатки пристрою. Розраховано параметри індукційного перетворювача пристрою. Виконані розрахунки підтверджують працездатність розробленого пристрою.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі було виконано огляд і аналіз літературних джерел щодо конструкцій та технологічних особливостей лічильників і витратомірів, які застосовуються у різних сферах діяльності людини.

Проведено аналіз кількох типів витратомірів, зокрема турбінних, швидкісних та лопатевих. На основі виконаного аналізу встановлено, що найвищу конкурентоспроможність, продуктивність та найменшу похибку при регулюванні та контролі витрати рідини демонструють лічильники з крильчаткою у складі конструкції.

У подальшому, під час розроблення конструктивних параметрів лічильника, було виконано розрахунки об'єму його робочої камери, розраховано найбільш навантажений елемент — крильчатку, визначено її конструктивні параметри. Вибрано підшипники для кріплення крильчатки у пристрої. Розраховано параметри індукційного перетворювача пристрою. Визначено момент опору, створюваний індукційним перетворювачем. Проведені розрахунки підтверджують працездатність розробленого пристрою.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Поліщук Є.С., Дорожжовець М.М та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. Підручник. – Львів. Видавництво. «Бескет Біт». 2003. -544 с.
2. Авторське свідоцтво №1509341 кл. G01F 3/00 – витратомір з обертотвим робочим органом
3. Авторське свідоцтво №699332 кл. G01F 3/16 – пристрій для вимірювання витрати рідини
4. Авторське свідоцтво №1113676 кл. G01F 3/10 – ротаційний витратомір
5. Авторське свідоцтво №605097 кл. G01F 3/10 – імпульсний витратомір з магнітним датчиком
6. Cengel Y. A., Cimbala J. M. Fluid Mechanics – Fundamentals and Applications, 4-те вид., McGraw-Hill, 2018
7. Дідур В.А., Журавель Д.П., Палішкін М.А., Борхаленко Ю.О. «Гідрравліка» – підручник, Херсон: Олді-Плюс, 2015, 624 с.
8. Пелевін Л.Є., Міщук Д.О., Рашківський В.П., Горбатюк Є.В. «Гідрравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика» – підручник для вузів, Київ: КНУБА, 2015, 340 с.
9. Ковальов І.О., Ратушний О.В. «Гідрравліка, гідро- та гідропневмоприводи» – конспект лекцій, Суми: СумДУ, 2016, 176 с.
10. ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009 – вимірювання витрати та кількості рідини й газу стандартними звужувальними пристроями. Діє з 01.04.2010. Код доступу: openarchive.nure.ua+8nung.edu.ua+8lpnu.ua+8.
11. ДСТУ ГОСТ 8.586.2–5:2009 (частини 2–5) – технічні вимоги та методики повірки діафрагм, сопел, труб Вентурі, методик виконання вимірювань. Введені в дію з 2010 р.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

12. ДСТУ 7156:2010 – тахометричні кулькові витратоміри. Методика повірки. Код доступу: openarchive.nure.ua.
13. Пістун Є.П., Масняк О.Я., Матіко Ф.Д. Система вимірювання витрати та кількості супутнього нафтового газу – матеріали конференції «Автоматика/Automatics», Львів–Київ, 2011.
14. Герконові датчики рівня рідини – каталог продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/ua/Gerkonovuj-datchik-urovnya.html>
15. Полів-Сервіс. Герконовий поплавковий датчик рівня води [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://poliv-service.kiev.ua/ua/p2513597296-gerkonovuj-datchik-urovnya.html>
16. Кофман Д.Б. Вибір основних розмірів магнітоіндукційних крильчатотахометричних витратомірів. // Прилади та системи керування, 7/2010. с.7.
17. Доступний. Герконовий датчик рівня (нержавійка, горизонтальний монтаж) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dostupny.uaprom.net/ua/p619845308-datchik-urovnya-vody.html>
18. Celduc Relais. Liquid Level Sensing Using Reed Switch Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.celduc-relais.com/en-us/liquid-level-sensing-using-reed-switch-technology/>
19. ДСТУ ГОСТ 8338:2008 Підшипники шарикові радіальні однорядні. Основні розміри. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=95849
20. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Текст] : навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 164 с.

ДОДАТКИ

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

