

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА**  
**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ю. В. Мельник

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ**  
**«МАГІСТР»**

**Тема: «Датчик автоматизованої системи заправлення**  
**вибухонебезпечними речовинами»**

**Виконавець:** Разицький Денис Сергійович

**Керівник:** к.т.н, доцент, Дивнич М. П.

**Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:**

**охорона праці:** Козлітін О. О.

**охорона навколишнього середовища:** к. ф.-м. н., доц. Гай А. Є.

**Нормоконтролер:** к.т.н, доцент, Дивнич М. П.

**Київ 2021**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет:** Аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

**Кафедра:** Аерокосмічних систем управління

**Освітній ступінь:** «Магістр»

**Спеціальність:** 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**Освітньо-професійна програма:** «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.В. Мельник

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ЗАВДАННЯ

**на виконання дипломної роботи**

**студента Разицького Дениса Сергійовича**

Тема: «Датчик автоматизованої системи заправлення вибухонебезпечними речовинами»

1. затверджена наказом ректора від \_\_.\_\_.20\_\_ № \_\_/ст.
2. Термін виконання: з \_\_\_\_\_ р. по \_\_\_\_\_ р.
3. Вихідні дані: діапазон вимірювання витрат від 0 до 100 л/хв. Похибка вимірювання  $\pm 5\%$ . за наявною інформацією про волоконно-оптичні датчики та витратоміри побудувати структурну схему і навести переваги витратоміра на основі волоконно-оптичного датчика.
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз типів та принципів роботи витратомірів. Дослідження волоконно-оптичних датчиків та витратомірів на заснованих на їх використаннях. Моделювання схеми витратоміра.

5. Календарний план-графік:

№ п/п	Етапи виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1.	Отримання та уточнення завдання	01.09.21	Виконано
2.	Пошук та огляд літературних джерел	09.09.21	Виконано
3.	Обґрунтування доцільності і актуальності задачі	16.09.21	Виконано
4.	Збір інформації	23.09.21	Виконано
5.	Аналітичний огляд основних понять і роботи витратомірів	30.09.21	Виконано
6.	Аналізування архітектури та особливостей функціонування витратомірів	13.10.21	Виконано
7.	Дослідження методів підвищення точності вимірювання	20.10.21	Виконано
8.	Опис методів виміру оптичних витратомірів	04.11.21	Виконано
9.	Формування висновків щодо ефективності розробленої моделі	11.11.21	Виконано
10.	Оформлення і друк пояснювальної записки	20.12.21	Виконано
11.	Отримання рецензій від опонентів	20.12.21	Виконано
12.	Оформлення презентації	21.12.21	Виконано
13.	Захист в ЕК	24.12.21	Виконано

Дипломник

(підпис, дата)

Д.С. Разицький

Дипломний керівник

(підпис, дата)

М.П. Дивнич

Консультант з

охорони праці

(підпис, дата)

О. О. Козлітін

Консультант з

навколишнього середовища

(підпис, дата)

А.Є. Гай

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи на тему «Датчик автоматизованої системи заправлення вибухонебезпечними речовинами» становить 90 сторінок та містить 32 рисунка, 21 рівняння, 2 таблиці, 23 літературних джерела.

ЛТАК, ПАЛИВО, ВИТРАТА РЕЧОВИН, ЛАЗЕРНИЙ ВИТРАТОМІР, ЕФЕКТ ДОППЛЕРА, ЦИВІЛЬНА АВІАЦІЯ, ВИТРАТОМІР, ДАТЧИК.

У дипломній роботі розглянуто основні методи вимірювання витрати речовин, проаналізовано існуючі типи витратомірів, їх переваги та недоліки.

Дипломна робота складається з п'яти розділів.

У розділі 1 дипломної роботи були розглянуті загальні відомості про методи вимірювання витрати речовин, описані існуючі пристрої-витратоміри, проаналізовані напрямки застосування витратомірів.

У розділі 2 дипломної роботи були розглянуті різновиди оптичних витратомірів, проаналізовані відомі лазерні витратоміри, оцінені переваги та недоліки витратомірів, заснованих на ефекті Доплера.

У розділі 3 дипломної роботи був розроблений витратомір для покращення технології вимірювання витрат легкозаймистих речовин.

У розділі 4 дипломної роботи було визначено негативні фактори впливу лазерного випромінювання на навколишнє середовище та людину, а також методи захисту від їх впливу. Були наведені допустимі норми забруднень навколишнього середовища згідно з основними стандартами.

У розділі 5 дипломної роботи було досліджено вплив лазерного випромінювання на працівника і розроблено заходи що дозволяють зменшити негативні наслідки під час роботи.

Матеріали дипломної роботи рекомендуються використовувати під час проведення наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності на підприємствах.

**Мета дипломної роботи:** Розробка функціональної схеми витратоміра, який може працювати у вибухонебезпечному середовищі.

**Завдання виконання:** полягає в виборі найбільш вдалої структурної схеми для побудови волоконно-оптичного датчика.

**Об'єкт і предмет дослідження:** Об'єктом дослідження даної роботи є витратомір з волоконно-оптичним датчиком. Предметом – пошук найбільш ефективного методу вимірювання таким способом.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>8</b>
<b>РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ТИПИ ВИТРАТОМІРІВ.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Загальні</b>	
<b>поняття.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Гідродинамічні витратоміри.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3. Витратоміри змінного рівня.....</b>	<b>13</b>
<b>1.4. Витратоміри обтікання.....</b>	<b>15</b>
<b>1.5. Парціальні витратоміри.....</b>	<b>18</b>
<b>1.6. Вихрові витратоміри.....</b>	<b>21</b>
<b>1.7. Тахометричні витратоміри.....</b>	<b>22</b>
<b>1.8. Силкові витратоміри.....</b>	<b>24</b>
<b>Висновки до розділу 1.....</b>	<b>28</b>
<b>РОЗДІЛ 2 ВОКОЛОННО-ОПТИЧНІ ДАТЧИКИ ТА ЇХ</b>	
<b>ВИКОРИСТАННЯ.....</b>	<b>30</b>
<b>2.1. Оптичне випромінювання як електромагнітна хвиля.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2. Оптико-волоконні датчики (ОВД) амплітудної модуляції...36</b>	
<b>2.3. Оптичні витратоміри.....</b>	<b>42</b>
<b>2.4. Витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля.....</b>	<b>47</b>
<b>Висновки до розділу 2.....</b>	<b>51</b>
<b>РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВОЛОКОННО-</b>	
<b>ОПТИЧНОГО ВИТРАТОМІРА.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1 Вибір фотоприймача для проєктованого пристрою.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2. Розрахунок частотного фільтра.....</b>	<b>62</b>
<b>Висновки до розділу 3.....</b>	<b>65</b>
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....</b>	<b>67</b>

4.1. Законодавство України про охорону навколишнього середовища.....	67
4.2. Захист навколишнього середовища в авіабудуванні.....	72
4.3. Вплив лазерного випромінювання на навколишнє середовище та живі організми.....	76
4.4. Заходи захисту від шкідливої дії лазерного випромінювання.....	79
Висновки до розділу 4.....	80
<b>Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>81</b>
5.1. Перелік виробничих факторів, що діють на суб'єкт.....	82
5.2. Шкідливі та небезпечні виробничі чинники.....	84
5.3. Джерела небезпеки у волоконній оптиці для здоров'я працівників.....	85
5.4. Правила безпечної роботи з лазерними випромінювачами та апаратами.....	86
5.5. Правила з охорони праці під час робіт на волоконно-оптичних кабелях зв'язку.....	86
5.6. Інструкція з охорони праці під час експлуатації проєктованого об'єкту.....	87
5.6.1 Основні положення.....	87
5.6.2. Вимоги до безпеки перед початком роботи.....	88
5.6.3. Вимоги до безпеки під час роботи.....	88
5.6.4. Вимоги до безпеки після закінчення роботи.....	90
5.6.5. Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях.....	90
Висновки до розділу 5.....	91
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>93</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>94</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** З розвитком промисловості все більшого значення набувають витратоміри рідини, газу, пари та сипучих речовин.

В наш час коли розвиток не тільки літакобудування, а й усіх галузей промисловості проходить надшвидкими темпами та тенденція розвитку крокує в бік зменшення забруднення навколишнього середовища та зменшення витрат палива під час експлуатації та обслуговування будь яких технологічних процесів. Тому процес витрат енергетичних ресурсів та палива необхідно дуже чітко контролювати.

З подальшим розвитком промисловості все більшого значення набули витратоміри рідини газу та пари. Витратоміри перш за все необхідні для управління виробництвом. Без них неможливо забезпечити оптимальний режим технологічного процесу в енергетиці, металургії, в хімічній, нафтовій, целюлозо-паперовій і багатьох інших галузях промисловості. Ці прилади також необхідні для автоматизації виробництва та досягнення при цьому максимальної ефективності.

Витратоміри потрібні для управління літаками та космічними кораблями, для контролю робіт зрошувальних систем у сільському господарстві та в багатьох інших випадках. Крім того вони необхідні для проведення лабораторних та дослідницьких робіт.

Лічильники рідини та газу необхідні для обліку маси чи об'єму нафти, газу та інших речовин, що транспортують по трубах та споживаних різними об'єктами. Без цих вимірів дуже важко контролювати втрати та виключення витрат цінних продуктів. Зниження похибки вимірів хоча б на 1% може забезпечити багатомільйонний економічний ефект. Роль та значення витратомірів та лічильників рідини, газу й пару стане ще значнішою у зв'язку з необхідністю максимальної економії енергетичних та водяних ресурсів країни.

В наш час до витратомірів висувається багато вимог, задовольнити які повною мірою одночасно, достатньо важко та не завжди можливо. Існує дві



групи вимог. До першої групи відносяться вимоги, що висуваються приладам для виміру витрат та кількості: висока точність, надійність, незалежність результатів вимірювання від зміни густини речовини, швидкодія та значний діапазон вимірювання. До другої групи відносяться вимоги, які характеризують всю групу витратомірів: необхідність вимірів витрат та кількості дуже різноманітної номенклатури речовин з різними властивостями, різних значень витрат від дуже малих до надзвичайно великих та під дією різних тисків та температур.

## РОЗДІЛ 1.

### КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ТИПИ ВИТРАТОМІРІВ

#### 1.1. Загальні поняття

Вимоги до сучасного витратоміра:

- висока надійність роботи;
- Високий клас точності;
- можливість заміни без зміни режиму роботи трубопроводу;
- низька трудомісткість при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті;
- струмовий та цифровий вихідні сигнали;
- великий міжповірочний інтервал.

Завдяки своїм унікальним поєднанням якостей ролико-лопатевої машини, а саме витратоміри, насоси та пневмодвигуни успішно впроваджуються в різні галузі народного господарства всесвіту.

Розглянемо види витратомірів.

Витратоміри, що використовують гідродинамічні методи:

- Парціальні витратоміри
- Витратоміри змінного тиску
- Витратомір змінного рівня
- Витратоміри обтікання
- Вихрові витратоміри

Витратоміри з тілом, що безперервно рухається

- Камерні лічильники та витратоміри
- Силкові витратоміри
- Тахометричні-витратоміри

<b>Кафедра АКСУ</b>				<b>НАУ 21.11.82 ПЗ</b>			
<i>Виконав.</i>	<i>Разицький Д.С.</i>			<b>Розділ 1.</b> <b>КЛАСИФІКАЦІЯ ТА</b> <b>ТИПИ ВИТРАТОМІРІВ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Дивнич М. П.</i>						
<i>Консульт.</i>	<i>Дивнич М. П.</i>						
<i>Норконтрол.</i>	<i>Дивнич М. П.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Мельник Ю. В.</i>						
					<b>151-203М-СУ</b>		

Витратоміри засновані на різних фізичних явищах

- Акустичні-витратоміри
- Іонізаційні витратоміри
- Оптичні витратоміри
- Теплові витратоміри
- Електромагнітні витратоміри
- Ядерно-магнітні витратоміри

Витратоміри засновані на особливих методах

- Концентраційні витратоміри
- Кореляційні витратоміри
- Міткові витратоміри
- Витратоміри з тілом, що вагається.
- Витратоміри з рухомою ділянкою трубопроводу
- Струменеві витратоміри

## **1.2. Гідродинамічні витратоміри**

Найпоширенішою групою витратомірів вважають витратоміри пов'язані на використанні гідродинамічних методів.

Основною перевагою даних витратомірів є універсальність застосування. Вони використовуються для вимірювання витрати, більшості однофазних і багатьох двофазних, середовищ при різних тисках і температурах. Витратоміри змінного перепаду тиску досить зручні для виробництва. Індивідуально виготовляється тільки перетворювач витрати - пристрій, що звужує. Всі інші частини можуть виготовлятися серійно (наприклад, диференціальний манометр і вторинний прилад), їх пристрій не залежить від виду, ні від параметрів середовища.

Найпростіша схема вимірювання витрати за методом змінного перепаду тиску, схема зображена на рисунку 1.1 включає звужувальний пристрій, встановлений у трубопроводі, з'єднувальні трубки, вони потрібні для відбору тиску до і після звужувального пристрою і передачі цього тиску

до U-подібного манометра (вимірник перепаду тиску). Часто манометр має перетворювач величини перепаду тиску пропорційну електричну величину або тиск повітря. Перепад тиску тим більше, що більше швидкість потоку, тобто. що більше витрата. Тому перепад тиску на пристрої, що звужує, буде мірою витрати речовини (рідини, газу або пари), що протікає через трубопровід.

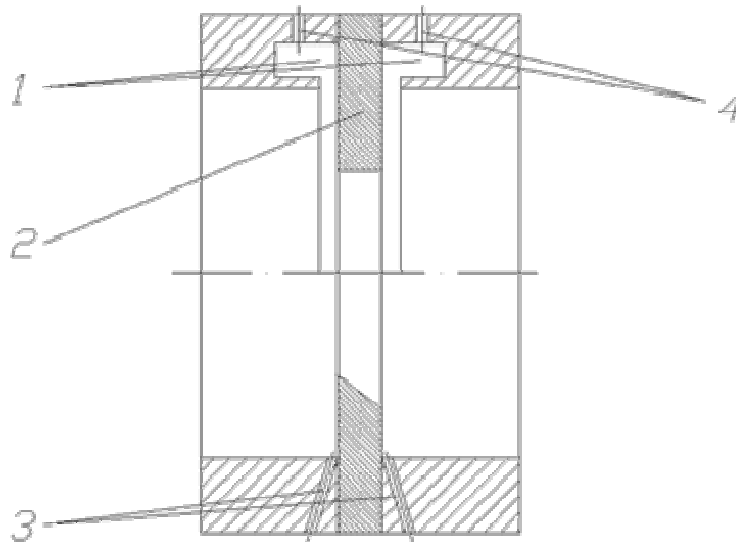


Рис. 1.1. Розташування діафрагми в трубі: 1 - кільцеві камери, 2 - діафрагма, 3 - окремі отвори для відбору тиску, 4 - виведення імпульсних трубок

Найбільшого поширення набули витратоміри з пристроями, що звужують. Вони вимірюють швидкість потоку речовини, яка збільшується при проходженні через пристрій, що звужує, встановлене в трубопроводі. При цьому відбувається частковий перехід потенційної енергії тиску в кінетичну енергію швидкості, через що тиск перед місцем звуження буде більшим, ніж за звуженим перетином. При виборі пристрою, що звужує, необхідно враховувати наступне. Втрати тиску в пристроях, що звужують, збільшується в наступній послідовності: труба Вентурі, довге сопло Вентурі, коротке сопло Вентурі, сопло, діафрагма. Зміна або забруднення вхідного отвору пристрою звуження в процесі експлуатації впливає на коефіцієнт витрати діафрагми більшою мірою, ніж на коефіцієнт витрати сопла.

### 1.3. Витратоміри змінного рівня

Витратомір змінного рівня – це прилад, в основі роботи якого лежить залежність між витратою рідини та висотою її рівня в посудині, при цьому рідина повинна постійно надходити в посудину і витікати через невеликий отвір (його зазвичай роблять у дні або бічній стінці). У таких витратомірах посудина з отвором закінчення і буде перетворювачем витрат.

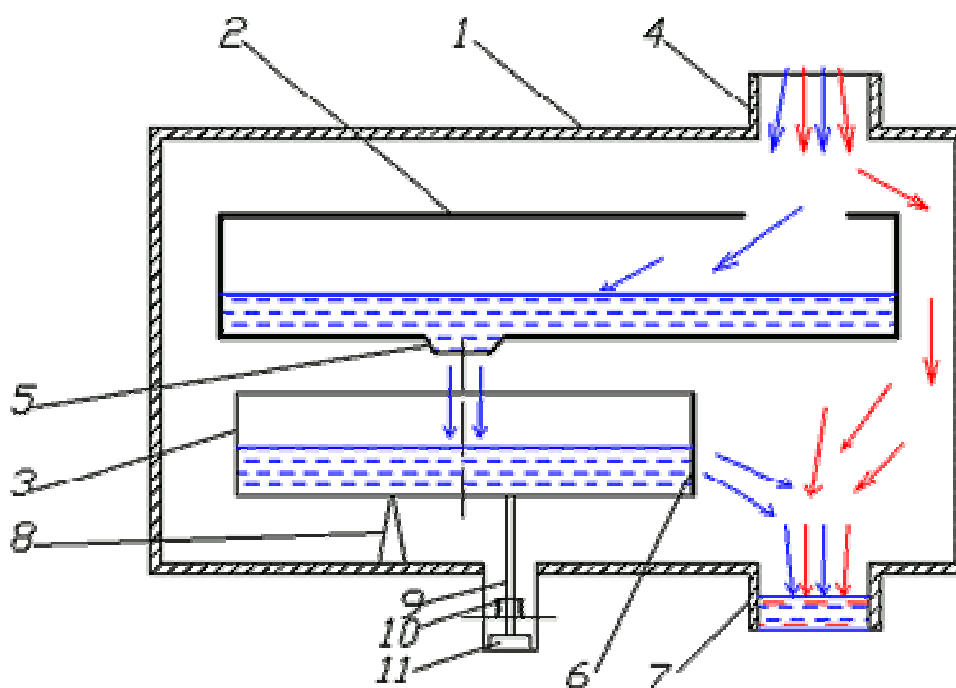


Рис. 1.2. Пристрій витратоміра з рухомою вимірювальною судиною:

- 1- циліндричний корпус, 2 - сепаратор, 3 - рухома судина, 4 - вхідна труба,
- 5 - дозуюча щілина, 6 - отвір закінчення вимірювальної судини, 7 - вихідна труба, 8 - опора, 9 - стрижень, 10 - сальниковий ущільнювач, 11 – силомір

На рисунку 1.2 зображено пристрій витратоміра змінного рівня з рухомим перетворювачем. Для наочності газ виділено червоним кольором, а рідина – синім.

У корпусі розташовані сепаруюча ємність (у формі сегмента) та посудина трикутної форми. Суміш газу та рідини по вхідній трубці надходить у сепаратор, де дегазується і рідина тече по його широкій основі через дозуючу щілину, в посудину. Дозуючу щілину, як правило, розташовують

над віссю рухомого судини. З судини рідина через отвір витікання (форма отвору витікання - парабола) витікає в нижню частину корпусу. Там газ знову перемішується з рідиною та тече у вихідну трубу. Вага судини тисне на стрижень, який має сильфонне ущільнення, та на перетворювач приладу для вимірювання механічних сил. Сильфонне ущільнення - це трубка з гофрованою бічною поверхнею, здатне розширюватися і стискатися під дією цієї ваги судини з рідиною.

Рівень рідини у посудині вимірюють прямим або непрямим шляхом.

Посудина може бути відкритою (якщо рідина витікає з труби у відкриту ємність) або закритою (якщо ємність, в яку витікає рідина, знаходиться під тиском).

Витратоміри можуть бути повністю або частково затопленим отвором закінчення. У першому випадку отвір, як правило, круглий і розташовується в дні судини, але іноді може знаходитися внизу бічної стінки. У другому випадку отвір закінчення розташовано внизу бічної стінки судини і має форму щілини (тому їх ще можуть називати щілинними витратомірами).

Посудина з отвором закінчення може бути рухомою і нерухомою. У першому випадку обов'язково вимірюють вагу судини, оскільки він впливає на висоту рівня, а отже, і на витрату рідини. Однак, у більшості розглянутих витратомірів перетворювач витрати нерухомий.

Витратомірами змінного рівня вимірюють витрати:

- стічних вод та забруднених рідин;
- агресивних рідин (сірки);
- суспензій;
- сумішей рідин та газів (нафтогазові суміші).

#### **1.4. Витратоміри обтікання**

Витратомірами обтікання називаються прилади, чутливий елемент яких сприймає динамічний тиск потоку та переміщається під його впливом, причому величина переміщення залежить від витрати.

Усі витратоміри обтікання можна розділити на три групи

- Витратоміри постійного перепаду тиску;
- Витратоміри з перепадом тиску, що змінюється;
- Витратоміри з поворотною лопатою.

Особливості першої групи витратомірів: тіло, що обтикається, переміщається вертикально, а сила опору потоку виникає за рахунок ваги рухомого тіла. У другій групі протидіюча сила створюється пружиною, а тіло, що обтикається, може переміщатися в різних площинах. У витратомірах з поворотною лопатою протидіюча сила створюється вагою тіла та пружиною, а іноді й додатковим джерелом енергії.

Як тіло обтікання в таких витратомірах може застосовуватися:

- Поплавок
- Поршень
- Диск
- Лопаті

Широкого поширення набули витратоміри постійного перепаду тиску.

Їх поділяють на:

- поплавкові витратоміри;
- поршневі витратоміри (золотникові витратоміри);
- ротаметри, схема зображена на рисунку 1.3.

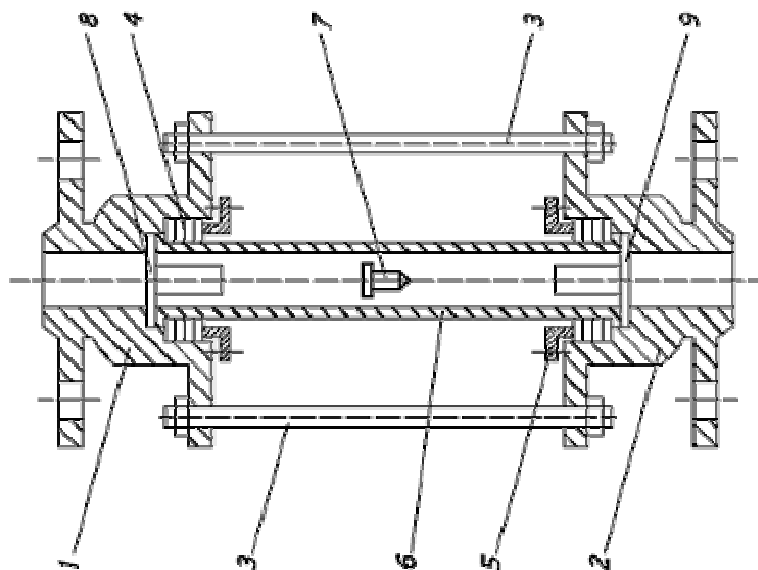


Рис. 1.3. Схема ротаметра: 1 - верхній патрубок, 2- нижній патрубок, 3- болтові стрижні, 4-накидні гайки, 5-сальний ущільнювач, 6-скляна трубка, 7-поплавець, 8-верхній упор, 9-нижній упор

Обтічне тіло може рухатися прямою (зазвичай уздовж своєї вертикальної осі) або повертатися навколо осі підвісу.

Ротаметри мають ряд переваг:

- Зручність при вимірі мінімальних витрат газів і рідин;
- Досить висока надійність у роботі;
- Рівномірність шкали та широкий діапазон вимірювань;
- Для виготовлення не потрібні складні технології чи дорогі матеріали.

У той же час ротаметри мають низку істотних недоліків:

- неможливість вимірювання витрати при великому тиску;
- відсутність дистанційної передачі вимірних даних;
- прив'язка ротаметра до точки виміру витрати (поток);
- неможливість застосування при відносно високих витратах речовини;
- неможливість запису показань;
- ротаметр повинен розташовуватися вертикально;
- в більшості випадків речовина, що протікає, повинна бути прозорою.

Принцип дії ротаметра зображено графічно на рисунку 1.4. Рідина рухається вгору трубою 1, змушує поплавець 3 піднятися на певну висоту і утворити кільцевий зазор між ним і стінками труби так, щоб сили, що діють на поплавок, врівноважилися. Отже, положення поплавця ротаметра відповідає певній величині витрати, яку можна визначити за шкалою 2.



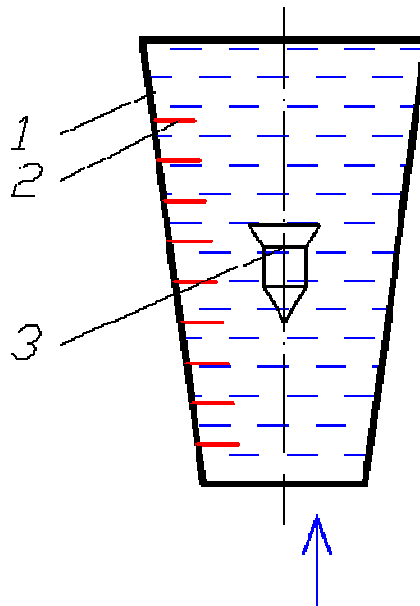


Рис. 1.4. Принцип дії ротатоміра: 1 – труба, 2 – шкала, 3 – поплавець

В основному на поплавок діють три сили:

- постійна сила гравітації  $G$ ;
- виштовхувальна сила  $A$  (постійна, якщо щільність рідини теж стала величина, згідно із законом Архімеда);
- сила  $S$ , динамічний тиск потоку, що впливає на поплавок.

Сума цих трьох миль врівноважується вагою поплавця.

Схема рисунку 1.3. працює таким чином. Конічна трубка за допомогою сальників і накладних гайок укріплена в патрубках, з'єднаних один з одним болтовими стрижнями. Щоб обмежити хід поплавця на підставі конічної трубки, встановлюють спеціальні упори.

При підвищеному тиску іноді використовують ротаметри в металевому кожусі. Їх поплавець забезпечений хвостиком-показчиком, який рухається в кишені, що має проріз, закритий товстостінним склом. Іноді скляну трубку маленького ротаметра поміщають всередину циліндричної трубки з товстими стінками з органічного скла, а простір між трубками з'єднують з середовищем, що вимірюється. Тоді можна вимірювати витрати при високих тисках.

## 1.5. Парціальні витратоміри

Парціальні витратоміри – вимірювальні прилади, в яких витрата речовини визначається через деяку частку основного потоку в невеликій трубці, що підключена паралельно до основного трубопроводу.

Всі парціальні витратоміри можна розділити на три основні групи:

- витратоміри, у яких відгалужений потік повертається в основну трубу,
- витратоміри з відвертим потоком, що не повертається,
- витратоміри, парціальний потік яких утворюється допоміжною речовиною.

Для коректної роботи парціального витратоміра необхідно, щоб безпосередньо вимірювана витрата  $q$  була строго пропорційна основній витраті  $Q$ . Для цього, перш за все, потрібно щоб усі прохідні перерізи в обвідній трубці не змінювалися, не було забруднення обвідної трубки та звужувального пристрою або гідравлічного опору, якщо таке є, а так само щоб дотримувалося рівність або сталість відношення щільностей середовища в основній та обвідній трубах.

Парціальні витратоміри в основному застосовують, якщо потрібно виміряти витрату рідини у трубці великого діаметра (водозрошувальні системи).

Переваги витратомірів парціального типу:

- Порівняльна дешевизна;
- Можливість серійного виробництва;
- Можна застосовувати у трубопроводах різного діаметра;
- З їх допомогою можна виміряти навіть пульсуючий витрата.

Парціальні витратоміри зі змінним перепадом тиску.

Щоб забезпечити пропорційність між витратами  $Q$  і  $q$  в обвідну трубку додатково ставлять діафрагму (якщо парціальний потік створюється за допомогою звужуючого пристрою). Але вимірювати витрати за допомогою цієї діафрагми зручно тільки при пульсуючому витраті. У цьому випадку пульсації в обвідній трубці згладжують за допомогою невеликих ємностей потужності.

На рисунку 1.5. наведено схему парціального витратоміру, який можна використовувати для виміру витрат газу.

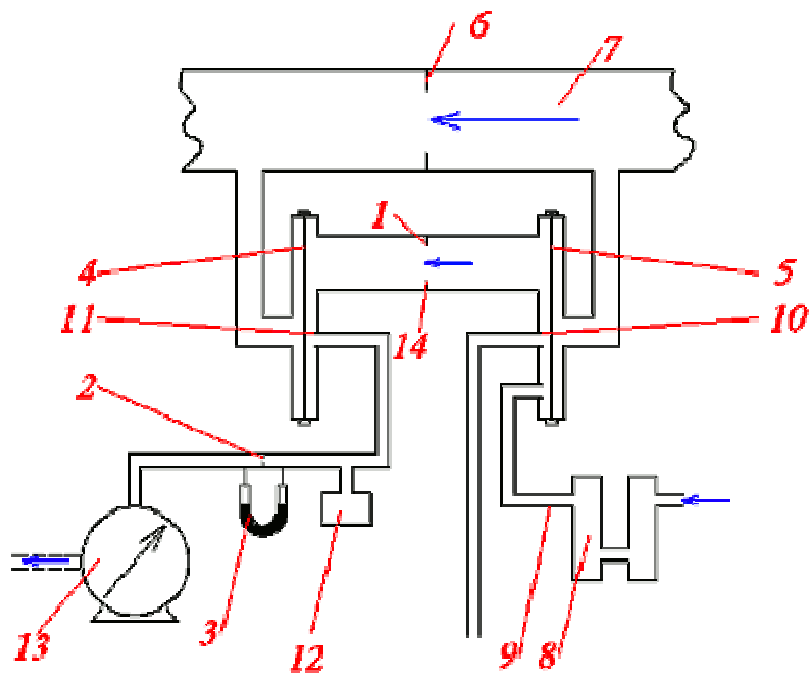


Рис.1.5. Схема парціального витратоміра для вимірювання пульсуючої витрати газу: 1 – діафрагма 1, 2 – діафрагма 2, 3 - дифманометр, 4, 5 - мембрани, 6 – діафрагма 3, 7 - основний трубопровід, 8 - фільтр, 9 - дросель, 10 - сопло , 11 – сопло 2, 12 - ємність для вимірювання повітря, 13 - лічильник, 14 - обвідна трубка

Для вимірювання витрати  $q$  є інша діафрагма 2 та дифманометр. Полістиролові мембрани (товщиною 0,1 мм, діаметром 8 мм) встановлені з обох сторін діафрагми 1, що сприймають тиск утворюються з обох сторін діафрагми 3, яка вміщена в основному трубопроводі. Також мембрани

відокремлюють від забрудненого газу діафрагму 1, і чисте повітря постійно притікає через неї, попередньо пройшовши через фільтр і дросель. У центрі мембран укріплені сталеві диски, що знаходяться проти отворів сопла<sup>1</sup> та сопла<sup>2</sup>. Це дозволяє автоматично підтримувати рівність тисків в основному трубопроводі та в обвідній трубці. Через сопло 1 зайве повітря видаляється в атмосферу, а значення парціальної витрати  $q$  визначається ступенем відкриття сопла 2. Для згладжування пульсацій тиску перед вимірювальною діафрагмою 2 служить невелика ємність, а для вимірювання кількості повітря, що пройшло, — камерний лічильник.

### 1.6. Вихрові витратоміри

Вихровими називаються витратоміри, витрата яких залежить від частоти коливання тиску. Коливання тиску виникають у потоці в процесі вихроутворення або коливання струменя або після перешкоди певної форми, встановленої в трубопроводі, або закручування спеціального потоку.

Як показано на рисунку 1.6., потік рідини або газу проходить через сопло та потрапляє в дифузور прямокутного перерізу. Внаслідок випадкових причин потік у кожний момент більшою мірою притискається до тієї чи іншої стінки дифузора (наприклад, до верхнього), і завдяки ежективальному впливу струменя в перетворювачі релаксаційного типу тиск у верхній частині обвідної трубки стане менше тиску в нижній її частині і по трубці виникне рух, показаний стрілкою, яке перекине струмінь до нижньої стінки дифузора. Далі напрямок руху в обвідній трубці зміниться, і струмінь осцилюватиме.

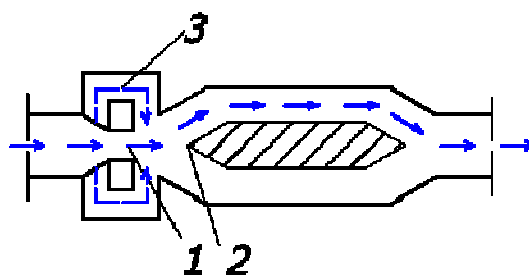


Рис 1.6.– Релаксаційний перетворювач вихрового витратоміра з осцилюючим струменем: 1-сопло, 2-дифузор, 3-обвідна трубка

До переваг вихрових витратомірів слід віднести:

- Простоту та надійність перетворювача витрати;
- Відсутність рухомих елементів;
- Великий діапазон вимірів;
- Лінійний вимірювальний сигнал;
- Досить високу точність виміру;
- Стабільність свідчень;
- Незалежність показань від тиску та температури;
- Порівняльна нескладність вимірювальної схеми;
- Можливість отримання універсального градування.

### **1.7. Тахометричні витратоміри**

Тахометричними називаються витратоміри і лічильники, що мають рухомий елемент, що зазвичай обертається, швидкість руху якого пропорційна об'ємній витраті. Принцип дії тахометричного водолічильника (витратоміру) заснований на вимірюванні швидкості обертання або підрахунку оборотів поміщеної в потік крильчатки або турбіни.

Тахометричними називаються витратоміри і лічильники, що мають рухомий елемент, що зазвичай обертається, швидкість руху якого пропорційна об'ємній витраті. Принцип дії тахометричного водолічильника (витратоміру) заснований на вимірюванні швидкості обертання або підрахунку оборотів поміщеної в потік крильчатки або турбіни. Різниця між тим та іншим рухомими елементами полягає в тому, що вісь обертання крильчатки розташована перпендикулярно, а турбіни - паралельно напрямку руху потоку. Усі тахометричні витратоміри (лічильники) є енергонезалежними.

При вимірі швидкості руху рухомого елемента отримуємо витратомір, а вимірюючи загальну кількість його оборотів - лічильник кількості речовини, що пройшла. Найбільшого поширення набули лічильники води та газу, тому що для цього треба лише з'єднати вал турбінки або іншого перетворювача витрати через зубчастий редуктор з лічильним механізмом.

Для створення тахометричного витратоміра швидкість руху елемента попередньо перетворюють на сигнал, пропорційний витраті і зручний для вимірювання, для чого необхідний двоступінчастий перетворювач витрати:

перший ступінь - турбінка (кулька або інший елемент), швидкість руху якої пропорційна об'ємній витраті;

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

Тут вимірювальним приладом є цифровий чи аналоговий електричний частотомір. Доповнивши частотомір лічильником електричних імпульсів, отримаємо лічильник кількості речовини, що пройшла.

Турбінні прилади, рисунок 1.7. найчастіше застосовуються для вимірювання витрати та кількості води, різних нафтопродуктів та інших рідин. Основним недоліком турбінних витратомірів є зношування опор, внаслідок чого вони непридатні для речовин, що містять механічні домішки. Крім того, вони не застосовні для дуже в'язких речовин, оскільки зі збільшенням в'язкості речовини діапазон їхньої лінійної характеристики зменшується. Турбіни більш придатні для рідин, ніж для газів, завдяки своїй змащувальній здатності.

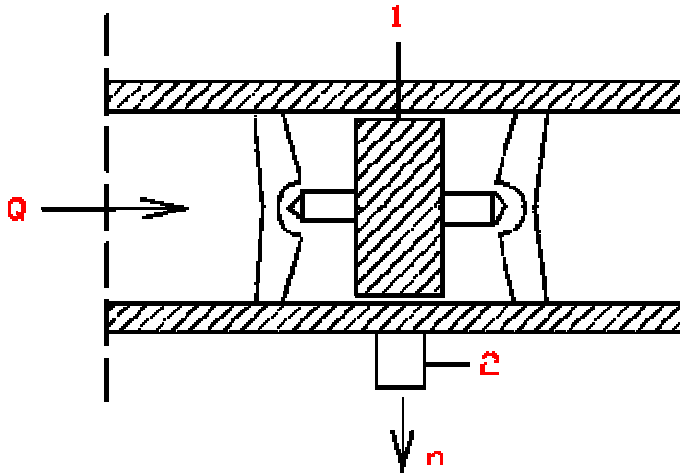


Рис. 1.7. Принципова схема турбінного тахометричного витратоміра:  
1-турбінка; 2-тахометр

### 1.8. Силкові витратоміри

Силковими називають витратоміри, засновані на залежності від масової витрати ефекту силового впливу, що повідомляє потоку прискорення того чи іншого роду. Прискорення, що виникає в процесі надання потоку будь-якого додаткового руху, пропорційно до масової витрати. Вимірюваний параметр, наприклад, потужність, витрачена на закручування потоку, пропорційна витраті, що вимірюється, тому силкові витратоміри вимірюють масовий витрата.

Розрізняють:

- витратоміри із зовнішнім силовим впливом - додатковий рух потоку повідомляється від зовнішнього джерела, як правило, від електродвигуна, який приводить у безперервне обертання один з елементів перетворювача витрати, наприклад, прямолопатеvu крильчатку, що закручує потік, що проходить через неї;
- витратоміри з внутрішньою силовою дією - додатковий рух потоку повідомляється за рахунок потенційної енергії потоку, наприклад, при його закручуванні нерухомими гвинтовими лопатками.

Залежно від характеру силового впливу і прискорення витратоміри поділяються на:

- коріюлісові масові витратоміри;
- гіроскопічні витратоміри;
- турбосилові витратоміри.

Камерними називаються тахометричні витратоміри і лічильники, рухомі елементи яких починають рух (безперервне або періодичне) під тиском вимірюваної рідини або газу і при цьому відмірюють певні обсяги або маси речовини, що вимірюється.

Камерні витратоміри вимірюють об'ємну витрату безпосередньо шляхом захоплення порції рідини, що повторюється. Загальний обсяг рідини, що проходить через витратомір у заданий проміжок часу, - це добуток обсягу порції на кількість порцій.

Камерні витратоміри часто підсумовують витрати безпосередньо на вбудований лічильник, але вони також можуть генерувати імпульсний вихід, який може бути переданий до кімнати керування. Так як кожен імпульс є дискретним об'ємом рідини, вони добре підходять для автоматичного дозування та обліку.

Цей тип витратомірів має ряд переваг:

- Високий клас точності;
- Низька вартість;
- Можливість виміру малих витрат;
- Широкий діапазон виміру;
- Можливість вимірювання витрат рідин із відносно високою в'язкістю;
- Недоліки камерних вимірювачів витрати:
- Наявність частин, що рухаються. Зношування рухомих механізмів призводить до зниження точності вимірювань або до можливого виходу з ладу витратоміра.
- Відносно складне конструктивне виконання.
- Висока чутливість до механічних домішок.



- Не застосовують для вимірювання витрати у трубах з великим діаметром.
- Складність ремонту. Зазвичай ремонт камерних витратомірів можливий лише у заводських умовах.

Камерні лічильники мають велику кількість різних різновидів. Їх можна поділити на три основні групи:

- з еластичними стінками камер;
- без рухомих розділових елементів;
- з рухомими розділовими елементами.

Зниження точності камерних витратомірів пов'язане із просочуванням через внутрішню ізольовану поверхню. Для того, щоб підвищити точність вимірювання витрати та кількості в існуючі конструкції приладів додають тахометричний перетворювач.

Найбільш відомий прилад першої групи - газолічильник з еластичними стінками двох або більше мірних камер, які послідовно заповнюються і спустошуються за їх постійного зворотно-поступального руху. Газорозподільний механізм золотниковий або клапанний. Прилади цієї групи знаходять широке застосування для вимірювання газу, що витрачається дрібними споживачами.

Прилади другої групи складаються з однієї або кількох мірних камер, які послідовно випорожнюються та заповнюються.

До них відносяться:

- барабанні, що обертаються (вимірюють об'єм рідини або газу);
- перекидаються (вимірюють масу або об'єм рідини);
- прилади з дзвоном, що колихається.

Крім того, до цієї групи камерних лічильників можуть бути умовно віднесені мірні ємності з сільфонним або клапанним спорощенням. Лічильники без роздільного елемента, що рухається, вважаються найточнішими. Але вони служать тільки для вимірювання невеликих витрат і при обмеженому тиску вимірюваної речовини.

Найчастіше застосовують прилади третьої групи. Вони мають найбільшу кількість різновидів. Камерні витратоміри з рухомими розділовими елементами складаються з жорсткої камери, в якій безперервно переміщається один або кілька розділових елементів (поршня, диска, роторів тощо) здійснюється відмірювання обсягів рідини або газу.

Перелічимо основні їх різновиди.

Роторні лічильники, зображено на рисунку 1.8. відрізняються один від одного формою та числом роторів. Вони можуть бути однаковими, наприклад, вісімкоподібними, трапецеїдальними або різними. Часто застосовуються як лічильники газу.

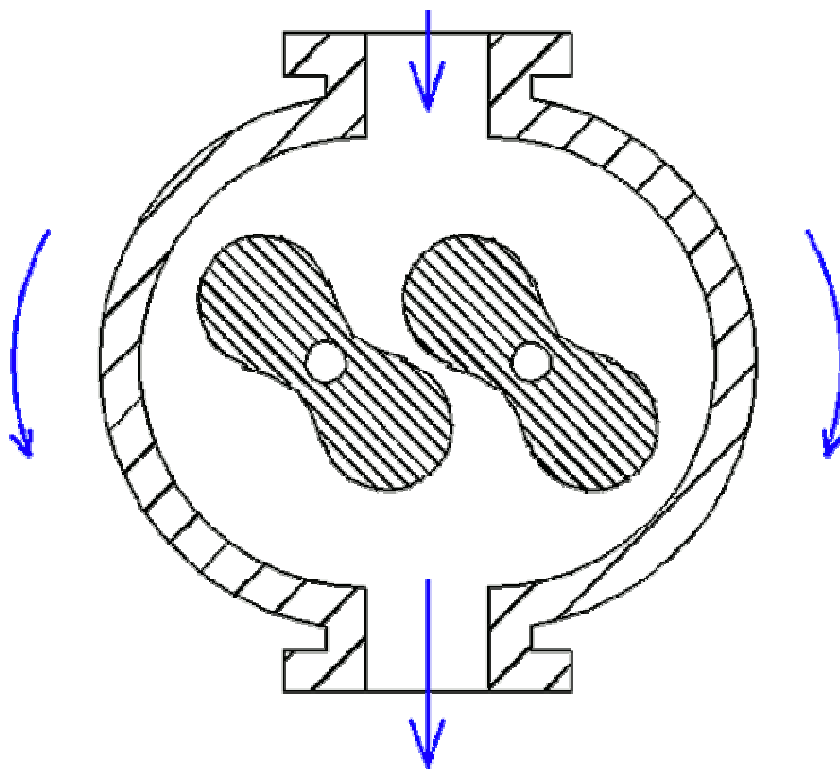


Рис. 1.8. Роторний лічильник

Зубчасті лічильники, зображено на рисунку 1.9. мають два різко відмінні один від одного різновиди: лічильники з овальними шестернями і гвинтові лічильники, що складаються з двох-трьох роторів гвинтової форми. Ті та інші призначені для вимірювання рідин, причому гвинтові лише за дуже

малих витрат. Основне застосування мають лічильники з овальними шестернями для вимірювання рідини різної в'язкості, в тому числі і дуже високої. Похибка трохи більше 1 % від вимірюваного значення.

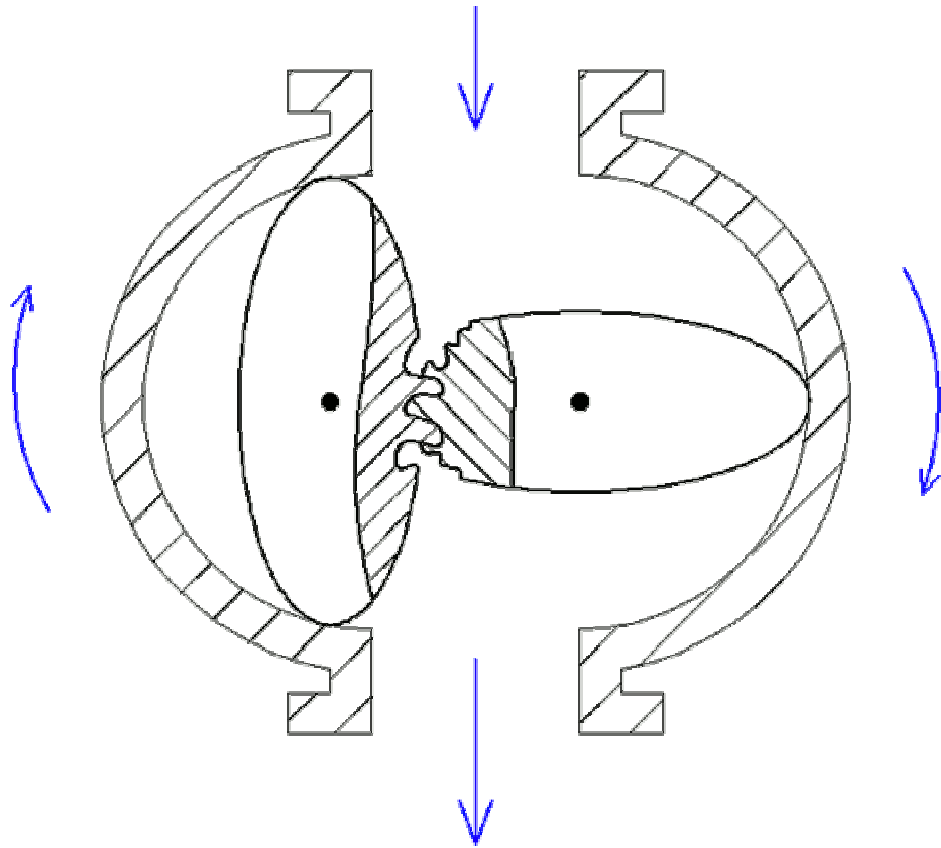


Рис. 1.9. Схема зубчастого лічильника із овальними шестернями.

### Висновки до розділу 1

Витратоміри знаходять широке застосування у всіх галузях промисловості, де потрібно виміряти потік рідини або газу. Найпоширенішими галузями є:

- видобуток корисних копалин і додаткових продуктів (наприклад, попутний нафтовий газ - ПНГ);
- транспортування рідин і газів по магістральним або розподільним трубопроводам;
- дозування рідин або газів в технологічних процесах;

- циркуляція рідин і газів;
- технологічні вимірювання (наприклад, холодоагенту в системах охолодження та теплопостачання);
- промислові викиди і очищення.

В даний час головним споживачем витратомірів є нафтогазова галузь. У нафтогазовій галузі витратоміри застосовуються для обліку видобутку, транспортування, руху продукції на території переробних заводів і за їх межами і т.п.

Крім нафтогазової галузі можна виділити наступні ключові галузі-споживачі витратомірів:

- хімічна галузь;
- теплові, електричні і комбіновані станції;
- водопідготовка, водопостачання і водовідведення;
- харчова промисловість;
- фармацевтична промисловість;
- мікроелектронна промисловість;
- целюлозно-паперове виробництво;
- металургія;
- машинобудування;
- сільське господарство.

Існує ряд методів вимірювання витрати палива. До найбільш поширених, які мають поширення в авіації можна віднести:

- об'ємний;
- гідродинамічний (змінного перепаду тиску);
- метод постійного перепаду тисків;
- відцентровий;
- турбінний;
- тепловий;

- ультразвуковий;
- електромагнітний (індукційний)
- оптичний.

## РОЗДІЛ 2.

### ВОКОЛОННО-ОПТИЧНІ ДАТЧИКИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Удосконалення систем автоматичного контролю та управління різними об'єктами, процесами, виробництвами багато в чому визначається досягненнями у галузі вимірювальних перетворювачів (датчиків). Багато датчиків, що випускаються, не завжди задовольняють споживача за такими показниками, як розміри, точність, допустимі умови експлуатації. В останнє десятиліття сформувалося напрямом, що використовує оптичне випромінювання та унікальні властивості оптичних середовищ для реєстрації різних фізичних впливів. Цьому сприяли також успіхи в технології волоконних світловодів, які призвели до широкого використання для передачі інформаційних сигналів.

Розвиток волоконно-оптичних датчиків (ВОД) йде шляхом заміни традиційних датчиків, коли споживача не задовольняють їх параметри, або шляхом отримання нових функцій. Вони виявляються конкурентоспроможними у тих випадках, коли необхідно забезпечити роботу в умовах сильних електромагнітних полів, в агресивних та вибухонебезпечних середовищах спільно з волоконно-оптичними лініями зв'язку. В даний час це вже визнаний напрям розвитку вимірювальних перетворювачів, в рамках якого створені датчики тиску, зусилля, переміщення, швидкості, акустичних навантажень, напруженості електричного та магнітного полів тощо.

Постійно розширюється коло наукових колективів та конструкторських організацій, що займаються розробкою ВОД.

<b>Кафедра АКСУ</b>				<b>НАУ 21.11.82 ПЗ</b>			
Виконав.	Разицький Д.С.			<b>Розділ 2. ВОКОЛОННО-ОПТИЧНІ ДАТЧИКИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ</b>	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник	Дивнич М. П.						
Консульт.	Дивнич М.П.						
Контрол.	Дивнич М. П.						
Зав. каф.	Мельник Ю. В.						
					<b>151-203М-СУ</b>		

## 2.1. Оптичне випромінювання як електромагнітна хвиля

Найважливішими енергетичними характеристиками оптичного випромінювання є енергія та потужність випромінювання. Енергія випромінювання  $W$ , що вимірюється в джоулях (Дж), - це енергія, що переноситься випромінюванням. Потужність випромінювання  $P$ , що вимірюється у ватах (Вт), - це кількість, що випускається, переноситься або прийнятої енергії випромінювання за одиницю часу.

Енергетичними характеристиками джерел оптичного випромінювання є поверхнева щільність потужності випромінювання  $M_E$ , енергетична сила випромінювання  $I_E$ , енергетична яскравість випромінювання  $L_E$ , ефективність випромінювання  $\eta_E$ . Поверхнева щільність потужності випромінювання  $M_E$  вимірюється у ватах на квадратний метр ( $\text{Вт}\cdot\text{м}^2$ ) і є відношенням потужності випромінювання, що випускається з поверхні випромінювача, до площі поверхні  $A_{\text{и}}$ :

$$M_E = dP/A_{\text{и}}$$

Енергетична сила випромінювання  $I_E$ , яка вимірюється в ватах на стерadian ( $\text{Вт}/\text{ср}$ ), є відношення потужності випромінювання до тілесного кута  $\omega$ , в границях якого розповсюджується випромінювання

$$I_E = dP/d\omega$$

Вона являє собою характеристику точкового джерела випромінювання. Для неточкового джерела випромінювання вводять поняття енергетичної яскравості випромінювання (променистості),  $L_E$  ( $\text{Вт}/\text{ср}\cdot\text{м}^2$ ), яка визначається як відношення потужності випромінювання до тілесного кута, в якому вона розповсюджується, і до розміру поверхні, яка випромінюється, тобто

$$L_E = d^2P/dA_{\text{и}}d\omega\cos\varphi$$

Де  $\varphi$  кут між нормаллю до поверхні  $A_{\text{и}}$  і напрямком спостереження випромінювання.

Ефективність випромінювання або, точніше, ККД джерела  $\eta_{\text{Е}}$  (у відсотках) показує частку потужності, перетвореною джерелом на оптичне випромінювання, тобто:

$$\eta_{\text{Е}} = P/P_{\text{пит}}$$

Де,  $P_{\text{пит}}$  - потужність, яка проводиться до джерела випромінювання.

Енергетичною характеристикою приймача випромінювання є енергетична освітленість,  $E_{\text{Е}}$  що вимірюється у ватах на квадратний метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), яка є відношення потужності, що падає на поверхню  $A_{\text{п}}$ , до розміру цієї поверхні, тобто:

$$E_{\text{Е}} = dP/dA_{\text{п}}$$

Вимірювання перерахованих величин виробляються у зазначених одиницях у будь-якій області спектра оптичних коливань ( $10^{13}$ - $10^{15}$  Гц).

Однак для хвиль, які мають довжину від 380 до 780 нм, для діапазону світлових коливань, які людське око може сприймати, вводять аналогічний набір фотометричних характеристик випромінювання. Ці особливості в тому, що людське око по-різному сприймає два джерела світла з однаковою потужністю, але різної довжиною хвилі випромінювання. Це пов'язано із залежністю спектральної чутливості ока  $S_{\lambda}$  від довжини хвилі  $\lambda$  випромінювання (рис. 2.1).



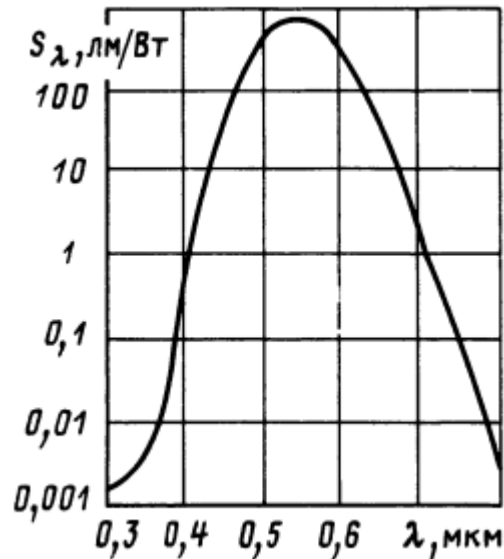


Рис. 2.1. Нормована спектральна чутливість ока, адаптована до світла

Силі випромінювання для світлового діапазону відповідатиме фотометрична характеристика — сила світла  $I_\Phi$ , яка є відношенням світлового потоку  $\Phi$  (що припадає на область чутливості ока) до тілесного кута, в якому поширюється світловий потік:

$$I_\Phi = d\Phi/d\omega$$

Сила світла  $I_\Phi$  вимірюється в канделах [кд]. Кандела відноситься до основних одиниць міжнародної системи одиниць і має визначатися, як сила світла в певному напрямку від джерела, яке випускає монохромне випромінювання.

Одиницею світлового потоку  $\Phi$  є люмен [лм] – світловий потік, який випускається однорідним точковим джерелом в тілесному куті.

Тілесний кут — частина простору, яка є об'єднанням усіх променів, що виходять з деякої точки, яка є вершиною кута і перетинають поверхню, що стягує даний тілесний кут. Тілесний кут обмежує деяка конічна поверхня.

Одиницею вимірювання тілесного кута є стерadian [ср], що дорівнює тілесному куту, вирізаному зі сфери радіуса  $r$  і площею  $r^2$ .

Встановлено, що потужність випромінювання в 1 Вт, створена монохроматичним джерелом світла на довжині хвилі  $\lambda = 0.555$  мкм, тобто це максимальна спектральна чутливість ока, для яркого світла, яке відповідає приблизно 680 лм світлового потоку.

Світлова енергія  $Q$  в люмен-секундах [лм\*с] є інтегралом від світлового потоку  $\Phi$  за часом  $t$ :

$$Q = \int \Phi dt$$

Світність  $M_\Phi$  в люмена на квадратний метр [лм/м<sup>2</sup>] – фотометричний аналог поверхневої щільності випромінювання  $M_E$  і визначається, як відношення світлового потоку до площі поверхні джерела світла  $dA_{\text{И}}$ , тобто:

$$M_\Phi = \frac{d\Phi}{dA_{\text{И}}}$$

Яскравість  $L_\Phi$  в канделах на квадратний метр [кд/м<sup>2</sup>] для неточкового джерела випромінювання є відношенням світлового потоку  $\Phi$  в тілесному куті до розміру випромінюваної поверхні, розташованої під кутом  $\varphi$  до напрямку спостереження:

$$L_\Phi = d^2\Phi/dA_{\text{И}}d\omega\cos\varphi$$

Світлова ефективність (світловіддача)  $\eta_\Phi$  в люменах на ват [лм/Вт] є відношенням світлового потоку до підведеною до джерела випромінювання потужності, тобто:

$$\eta_\Phi = \frac{\Phi}{P_{\text{пит}}}$$

Основна фотометрична характеристика для приймачів світла є їх освітленість  $E_\Phi$ , яка має визначення, як відношення світлового потоку, яке падає на поверхню, до розмірів цієї поверхні, тобто:

$$E_\Phi = d\Phi/dA_{\text{П}}$$

Одиницею освітленості  $E_{\Phi}$  є люкс [лк] – освітленість, яка створюється світловим потоком в 1 лм на поверхні в  $1 \text{ м}^2$ .

Співвіднести енергетичні і фотометричні характеристики можна навести в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Енергетичні і фотометричні характеристики поля випромінювання.

Енергетичні характеристики	Фотометричні характеристики
Потужність випромінювання $P$ , Вт	Світловий потік $\Phi$ , лм [кд*ср]
Енергія випромінювання, Дж [Вт*с], $W = \int P dt$	Світлова енергія, лм*с $Q = \int \Phi dt$
Енергетична сила випромінювання, Вт/ср, $I = dP/d\omega$	Сила світла, кд [лм*ср], $I_{\Phi} = d\Phi/d\omega$
Поверхнева щільність потужності випромінювання $\text{Вт}/\text{м}^2$ , $M_E = dP/dA_{\text{И}}$	Світність, $\text{лм}/\text{м}^2$ , $M_{\Phi} = \frac{d\Phi}{dA_{\text{И}}}$
Енергетична яскравість випромінювання (променистість), $\text{Вт}/(\text{ср}*\text{м}^2)$ , $L_E = d^2P/dA_{\text{И}}d\omega\cos\varphi$	Світлова яскравість, $\text{кд}/\text{м}^2$ , $L_{\Phi} = d^2\Phi/dA_{\text{И}}d\omega\cos\varphi$

Продовження таблиці 2.1

Енергетична освітленість, $\text{Вт}/\text{м}^2$ , $E_E = dP/dA_{\text{И}}$	Освітленість, лк [ $\text{лм}/\text{м}^2$ ], $E_{\Phi} = d\Phi/dA_{\text{П}}$
Ефективність випромінювання, %, $E = \frac{P}{P_{\text{Пит}}} * 100$	Світлова ефективність (світловіддача), лм/Вт $\phi = \Phi/P_{\text{Пит}}$

Енергетичні характеристики оптичного випромінювання є універсальними і можуть бути використані для опису процесів як у видимій, так і в ультрафіолетовій та інфрачервоній областях спектру. Фотометричні характеристики використовуються у видимій галузі електромагнітних коливань. Їх використання є необхідним при розрахунку приладів та пристроїв, призначених для створення випромінювання, що реєструється оком людини.

Якщо потрібно перейти від фотометричних параметрів до енергетичних, використовують таке співвідношення:

$$P = \Phi / S_{\lambda}$$

Значення  $S_{\lambda}$  для досліджуваної довжини хвилі визначається за рис. 2.1.

## **2.2. Оптико-волоконні датчики (ОВД) амплітудної модуляції.**

В даний час ОВД використовуються в тих випадках коли традиційні вимірювальні засоби не можуть бути застосовані або їх застосування є дорого вартісним. Але спостерігається бурхливий розвиток волоконно-оптичної передачі інформації, що сприяє розвитку оптико-волоконної вимірювальної техніки та здешевленню технології виготовлення.

Оптичне волокно має наступні загальні переваги:

- широка смуга пропускання (до десятків терагерц)
- малі втрати (мінімальні до 0,16 дБ/км)
- маленький діаметр волокна ( не більше 125 мкм)
- мала маса ( приблизно 30 г/км)
- еластичність (мінімальний радіус вигину 2 мм)
- механічна міцність (витримує навантаження на розрив до 7 кг)
- безіндукційність (практично відсутній вплив електромагнітної індукції на волокно)

- відсутність взаємної інтерференції сигналів, що передаються по волокну
- вибухобезпечність;
- висока електроізоляційна міцність ( волокно довжиною 20 см витримує напругу до 10 кВ)
- висока корозійна стійкість.

Оптико-волоконні технології, що розвиваються призвели до створення нових пристроїв - оптико-волоконних гіроскопів, датчиків температури, акустичних сенсорів акселерометрів та інших.

ВОД, зображено на рис 2.2. це вимірювальний перетворювач, що містить відрізок волоконного світлопроводу або оптичний елемент оптичні властивості якого залежать від зовнішнього впливу, а також відрізки волокна, що підводять та відводять оптичне випромінювання до місця взаємодії його із зовнішнім полем, які поєднані з джерелом випромінювання та фотоприймачем.



Рис. 2.2. Волоконно-оптичний датчик

Безпосередня модуляція за інтенсивністю найбільш підходить для подальшої обробки вихідного сигналу ОВД. В більшості випадків не потрібно використання джерела когерентного випромінювання (лазерів), але деякі з них можуть бути реалізовані тільки при роботі з поляризованим випромінюванням.

Датчики з амплітудної модуляції на потребують спеціальних вимог до джерела та приймача випромінювання та не потребують додаткової схеми

обробки сигналу так як амплітудно-модульований сигнал безпосередньо реєструється за допомогою фотоприймача.

Амплітудна модуляція оптичного сигналу може бути здійснена за рахунок:

- безпосереднього послаблення світла в середовище при зміні коефіцієнта поглинання;
- зміни поперечного перерізу оптичного каналу;
- зміни ступеня відбиття (поглинання) при варіації показника заломлення у тому числі порушення повного внутрішнього відбиття;
- керуемого зв'язку хвильопроводів при зміні показника заломлення;
- отримання додаткового випромінювання при дії фізичного фактору.

Датчики на основі модуляції випромінювання під час його проходження через середовище зі змінним пропусканням

Згідно із законом Бугера-Ламберга випромінювання, яке пройшло шлях  $l$  у деякому середовищі з коефіцієнтом поглинання  $\chi$  послаблюється у  $\exp(\chi l)$  раз.

В якості амплітудного датчика напруженості електричного поля або температури може застосовуватись напівпровідник, який розташований поміж оптичними світлопроводами. Зміна показника поглинання випромінювання відбувається за рахунок зсуву смуги поглинання речовини.

Найбільше такий ефект спостерігається в арсеніді галія, що зображена на рисунку 2.3. Так за допомогою напівпровідникової смужки з  $GaAs$  поміж торцями світлопроводів по яких розповсюджується випромінювання довжиною хвилі

$\lambda = 880 \pm 150$  нм можна вимірювати температуру в діапазоні  $-10^{\circ} \div 300^{\circ} \text{C}$  з точністю  $1^{\circ} \text{C}$ .

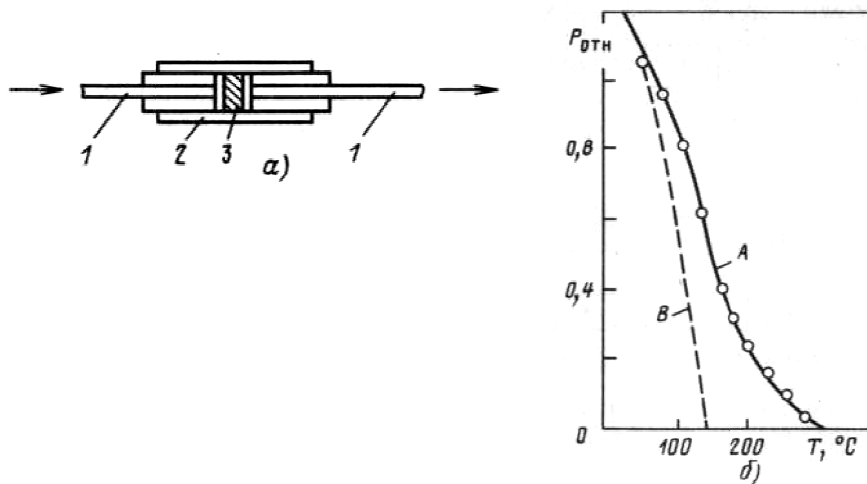


Рис. 2.3 Будова датчика температури з напівпровідниковою с поглинаючою пластину з GaAs (а) та його функція перетворення (б): 1—волоконні світлопроводи; 2 — корпус; 3 — напівпровідниковий поглинач; а — експериментальна крива; б— розрахункова крива

ОВД, в яких змінюється відбиття або пропускання світла

Зміна оптичного пропускання каналу між джерелом та приймачем випромінювання досягається не тільки за рахунок зміни властивостей однорідного матеріалу, який утворює оптичний канал, але і за рахунок введення в нього інших елементів (шторок, діафрагм, решіток), які зменшують поперечний переріз оптичного каналу та відповідно його пропускання.

Наприклад датчик тиску, який зображено на рисунку 2.4., в якому поміж джерелом випромінювання (світлодіодом) та двома фотоприймачами при зміні тиску переміщується шторка, яка змінює потік випромінювання, що падає на один з фотоприймачів.

Для виключення залежності від інтенсивності випромінювання світлодіоду використовується контрольний фотодіод, сигнал якого порівнюється з сигналом вимірювального фотодіоду.

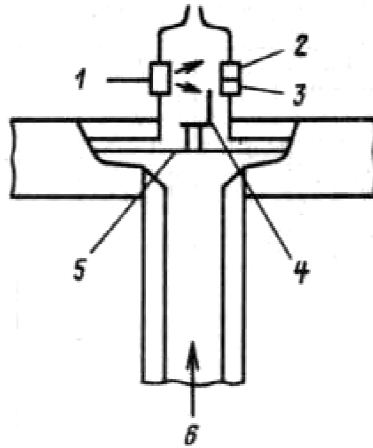


Рис. 2.4. Датчик тиску зі шторкою: 1— світлопровід з світлодіодом;  
 2, 3 — контрольний та вимірювальний фотодіоди відповідно;  
 4 — шторка; 5— мембрана; 6 — тиск, який вимірюється

ОВД на основі порушення повного внутрішнього відбиття

Принцип дії таких ОВД заснований на зменшенні світлової енергії, яка передається по оптичному каналу у вигляді направлених мод, при порушенні повного внутрішнього відбиття (ПВВ) від границь світлопроводу.

Умова ПВВ визначається нерівністю:

$$\theta > \arcsin(n_2 / n_1),$$

де  $\theta$  - кут розповсюдження випромінювання у світлопроводі  $n_2/n_1$  - показники заломлення серцевини світлопроводу та зовнішнього середовища.

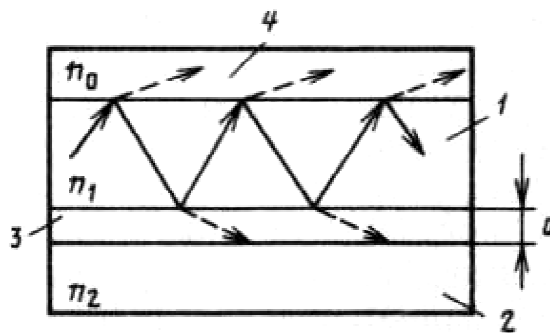


Рис. 2.5. До пояснення принципу дії датчика



с порушенням повного внутрішнього відбиття: 1— хвильопровідний канал;  
2—зовнішнє середовище; 3— проміжок; 4 — підкладка

ПВВ легко порушити за рахунок зміни  $n_1$  або  $n_2$  зміни зазору  $d$  між серцевиною та зовнішнім середовищем ( які розділені наприклад повітряним проміжком). Що показано на рисунку 2.5.

Краще реєструвати зміну показника заломлення серцевини або зовнішнього середовища під дією зовнішнього збурення.

Наприклад датчик рівня або типу рідини, зображено на рисунку 2.6.

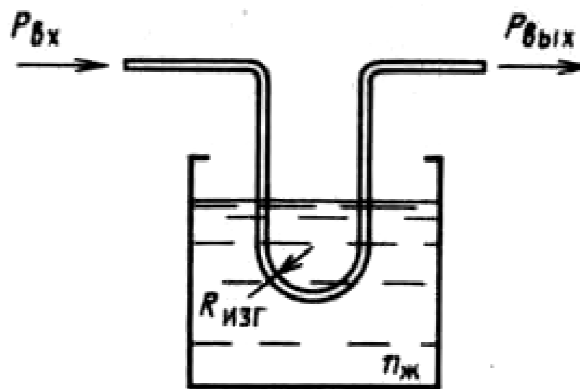


Рис. 2.6. ОВД рівня або типу рідини, в якому використовується світло провід з крутим вигином ( $P_{вих}$  залежить від показника заломлення рідини  $n_p$  и радіуса вигину світло проводу  $R_{виг}$ )

### 2.3. Оптичні витратоміри

Оптичні витратоміри – це витратоміри, що ґрунтуються на залежності від витрати речовини того чи іншого оптичного ефекту в потоці.

Існують такі різновиди цих приладів:

- доплерівські витратоміри (принцип їх роботи заснований на вимірі різниці частот, що з'являється при відображенні світлового променя частинками потоку, що рухаються);

- витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля (в них вимірюється зсув інтерференційних смуг або частоти світлових коливань, пов'язаний із залежністю швидкості світла в прозорій речовині, що рухається від його швидкості);
- особливі оптичні витратоміри;
- кореляційні оптичні витратоміри;
- витратоміри, засновані на вимірі часу переміщення на певній ділянці шляху оптичної мітки, введеної в потік.

Оптичні витратоміри часто називають лазерними, оскільки розвиток їх основних різновидів став можливим після створення потужних квантових оптичних генераторів (ОКГ), які частіше називають лазерами.

Допплерівські оптичні витратоміри є основними серед оптичних приладів, що розглядаються. В основному вони застосовуються для вимірювання місцевих швидкостей рідини та газу. Для вимірювання витрати вони застосовуються рідше, на відміну приладів, заснованих на принципі Фізо-Френеля, призначені лише для вимірювання витрати. Оптичні витратоміри зазвичай застосовують у трубах невеликого діаметра.

#### Допплерівські витратоміри

Принцип дії витратомірів даного типу заснований на вимірі різниці частот, що виникають при відображенні світлового або звукового променя частинками потоку, що рухаються.

Світло відбивається (або розсіюється) від великої кількості природних чи штучних неоднорідностей вимірюваної речовини. Внаслідок чого на приймач надходить сигнал, що містить випадкові складові спектру, так як характер додавання амплітуд і фаз елементарних відображень випадковий. Хоча потужність сигналу не велика, але цього достатньо для вимірювання зсуву доплерівського.

Схеми оптичних пристроїв у анемометрів та витратомірів Допплера можуть бути різні. Найчастіше джерело випромінювання і фотоприймальний

пристрій розташовуються на протилежних сторонах труби, незважаючи на те, що при цьому потрібна жорстка опорна конструкція, що забезпечує незмінність положення оптичної системи. При необхідності всю систему можна розташувати з одного боку, але в цьому випадку знадобляться більш потужне джерело випромінювання і більш чутлива вимірювальна схема, тому що тут на фотоприймач надходять відбиті промені, спрямовані в бік, протилежний руху потоку, інтенсивність яких у сотні і тисячі разів менша променів, що відображаються у напрямку потоку.

Вимір доплерівського зсуву частоти при звичайних швидкостях засноване на вимірюванні частоти биття двох когерентних оптичних сигналів, з яких один опорний, а інший розсіюється неоднорідностями речовини, що рухається.

Влаштування доплерівських оптичних скоростемірів наведено на рисунках 2.7.-2.10.

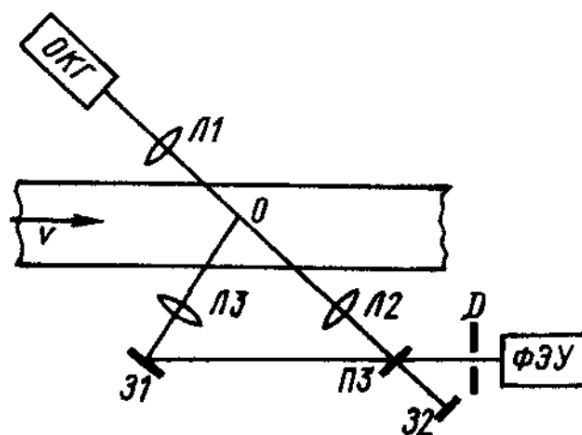


Рис. 2.7. Схема Ієха та Каммінгса

Принцип дії схеми, яка зображена на рисунку 2.7. заснований на тому, що промінь, утворений оптичним квантовим генератором ОКГ і сфокусований в точці лінзою Л1, відображає частину своєї енергії, яка збирається лінзою Л3 і направляється дзеркалом З1 через діафрагму D на

фотокатод фотоелектронного помножувача ФЭУ. Але дана схема має істотний недолік, що полягає в труднощі регулювання положення робочої точки О.

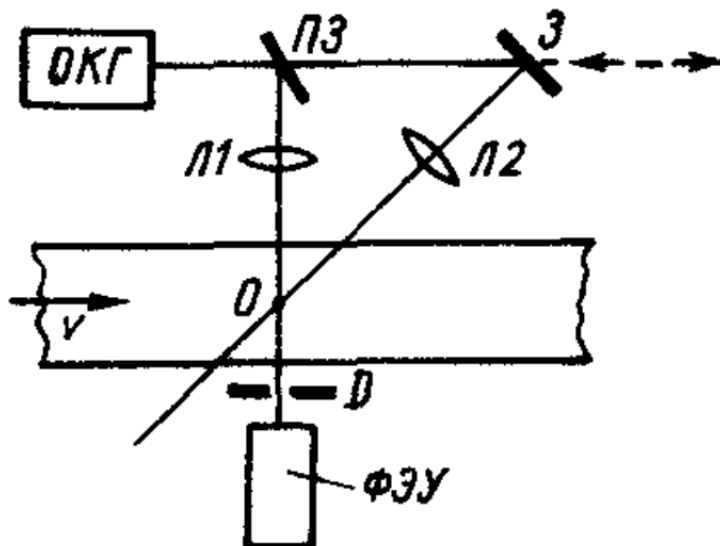


Рис. 2.8. Покращена схема Йєха и Каммінгса

Схема з рисунку 2.8. позбавлена недоліків попередньої, оскільки поділ променя відбувається до входу в потік, завдяки чому можна легко змінювати положення робочої точки. Принцип дії: промінь після виходу з ОКГ падає на напівпрозоре дзеркало ПЗ і частково відбивається ним, утворюючи опорний промінь, що проходить через лінзу Л1, потім через рідину (перпендикулярно до її руху без доплерівського ефекту) і через діафрагму D надходить на фотокатод ФЭУ. З ОКГ йде інша частина променя, яка проходить через дзеркало ПЗ, фокусується лінзою Л2 в робочій точці (частково розсіюючись) і утворює робочий промінь, що проходить через діафрагму D, і надходить на фотокатод ФЭУ. Положення робочої точки регулюється пересуванням дзеркала З.

## Вимірювання витрати за допомогою ефекту Доплера.

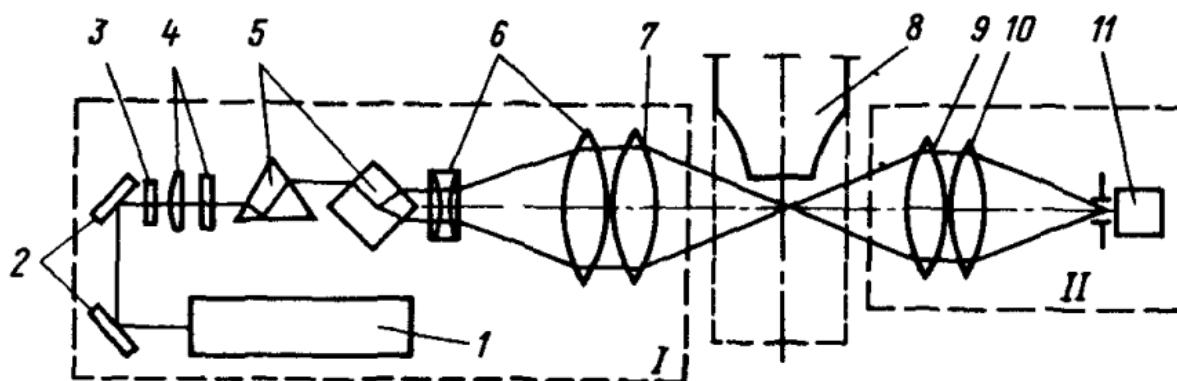


Рис 2.9 Схема доплерівського витратоміра: 1 - лазер; 2 - поворотні дзеркала; 3 - напівхвильова фазова пластинка; 4 - коліматор; 5 - призми; 6 - розширювач пучка; 7 - вихідний об'єктив; 8 - сопло Вітошинського; 9, 10 - об'єктиви приймального блоку; 11 – фотоприймач

Для вимірювання витрати оптичними засобами за допомогою ефекту Доплера застосовують два методи:

1) Цей метод полягає у вимірі за допомогою лазерного доплерівського анемометра середньої швидкості потоку та множення результату вимірювання на площу потоку;

2) Застосування лазерного доплерівського витратоміра особливої конструкції.

При першому методі вимірюється місцева швидкість (при відомому її співвідношенні із середньою швидкістю). Швидкість вимірюють у центрі труби чи з відривом  $0,758r$  (де  $r$  — внутрішній радіус труби) від осі труби. У другому випадку вимірюється безпосередньо середня швидкість, але потрібна більша довжина прямої ділянки труби, ніж при вимірюванні швидкості в центрі. Також утруднює вимірювання середньої частоти доплерівського сигналу через великий градієнт швидкості в даній точці, який призводить до небажаного розширення спектра цього сигналу.

Крапка в центрі труби не має цього недоліку. Але для вимірювання швидкості у цій точці необхідно знати коефіцієнт гідравлічного тертя труби.

Для зниження похибки вимірювання середньої швидкості і похибки вимірювання площі потоку в трубі встановлюють пристрій, що звужує типу сопла Вітошинського, яке формує рівномірне поле швидкостей. При цьому може бути отримана висока точність вимірювання витрати, близька до точності зразкових витратомірних установок.

При другому методі необхідні пристрої, що дозволяють або одночасно вимірювати доплеровський зсув частот у декількох точках, розташованих на різних відстанях від осі труби, або робити цю операцію послідовно, наприклад за допомогою двигуна, який з постійною швидкістю пересуває лінію фокусу і, отже, переміщає робочу точку. На малюнку 3 показана схема приладу, що вимірює доплерівський зсув частот у кількох точках. На напівпрозоре дзеркало 2 падає світловий промінь від лазера 1. Частина променя, відбита від дзеркала, направляється безпосередньо в потік 5, а інша частина надходить на дзеркало 3 і потім розщеплювач 4, з якого виходить у вигляді ряду пучків. Ці пучки інтерферують із прямим пучком в окремих точках потоку. Проходячи через лінзу 6 і діафрагму 7, вони надходять на протяжний фотоприймач 8. Для отримання вимірювальної інформації застосовується багатоканальний швидкодіючий аналізатор спектра або багатопроменевий доплеровський вимірювач з частотним зсувом пучків, в якому здійснюється як просторовий, так і частотний поділ світлових пучків за допомогою обертання.

Забезпечити вимірювання масової витрати можна, доповнивши доплерівський оптичний витратомір коректором, який враховує щільність вимірюваної речовини.

#### **2.4 Витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля**

Швидкість світла в речовині  $c_n$ , що рухається зі швидкістю  $v$ , залежить від величини та напрямку цієї швидкості. Швидкість  $c_n$  визначається рівнянням, яке теоретично вивів Френель, а експериментально підтвердив Фізо:

$$c_n = c/n \pm v(n^2 - 1)n^{-2}$$

де  $c_n$  - швидкість світла в нерухомій прозорій речовині;  $v$  – швидкість руху речовини;  $n$  - коефіцієнт заломлення речовини.

Принцип дії витратомірів, заснованих на ефекті Фізо-Френеля, наступний: для вимірювання швидкості  $v$  на певній ділянці шляху довжиною  $l$  створюється замкнутий контур довжиною  $L$ , яким світло циркулює в протилежних напрямках (світло треба пропускати по потоку і проти нього і вимірювати різницю часів проходження світлом цієї ділянки шляху). Вимірювана речовина рухається лише на частині цього контуру довжиною  $L$ . Зсув інтерференційних смуг або зсув частоти світлових коливань між обома потоками вимірюються за допомогою фотоприймального пристрою, на який надходять обидва світлові потоки після проходження замкнутого контуру  $L$ . Причому як зсув інтерференційних смуг, так і зсув частоти світлових коливань пропорційні швидкості  $v$  вимірюваної речовини.

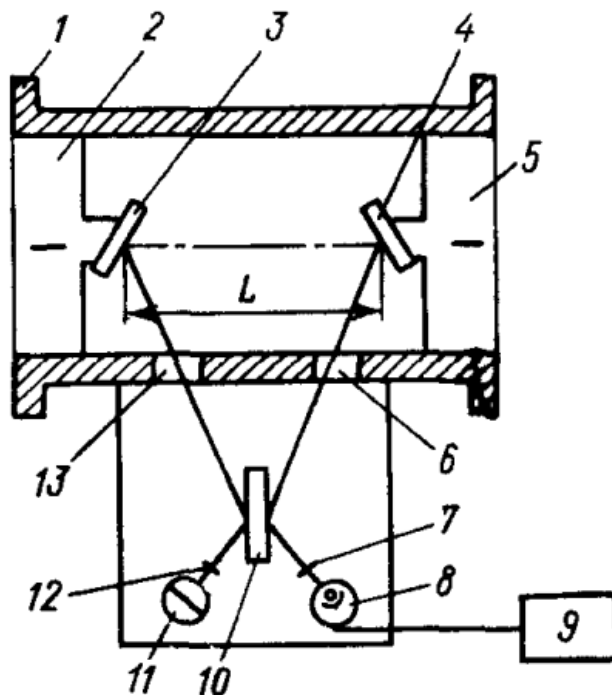


Рис. 2.10 – Схема інтерференційного витратоміра Фізо-Френеля: 1 - корпус, 2, 5 - потоковипрямлячі, 3, 4 - дзеркала, 6, 13 - прозорі вставки, 7 - діафрагма, 8 - фотоприймач, 9 – прилад для виміру фотоструму, 10 – напівпрозоре дзеркало, 11 - джерело, 12 - світлофільтр

На рисунку 2.10 наведено схему оптичного інтерференційного витратоміра. Світло від джерела 11 проходить через світлофільтр 12 і напівпрозорим дзеркалом 10 ділиться на два потоки, що проходять через прозорі вставки 6 і 13, встановлені в корпусі 1. Після відображення від дзеркал 3 і 4 (укріплених в трубі за допомогою потоковипрямлячів 2 і 5) промінь проходить шлях  $l$  по потоку вимірюваної речовини, а інший проти нього. Потім вони знову відбиваються від дзеркал 3 і 4 і повертаються до дзеркала 10 де змішуються і утворюють інтерференційну картину. Частина інтерференційної смуги проходить через діафрагму 7 і надходить до фотоприймача 8. Фотострум вимірюється приладом 9.

#### Особливі оптичні витратоміри

До особливих оптичних витратомірів можна віднести прилади, що ґрунтуються на залежності від витрати оптичних властивостей волоконного світловоду, який знаходиться в потоці вимірюваної речовини.

Оптичний витратомір з волоконним світловодом, розташованим на осі труби зображено на рисунку 2.11.

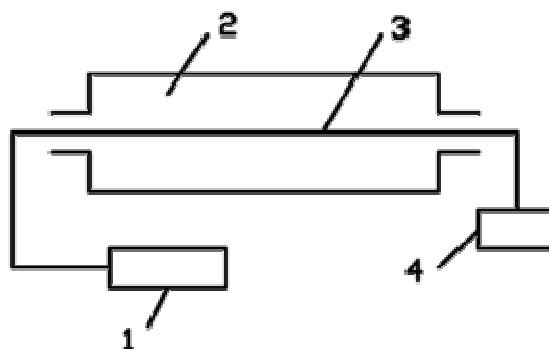


Рис. 2.11 - Оптичний витратомір з волоконним світловодом, розташованим по осі труби: 1 – неонов-гелієвий лазер, 2 - волоконний світловод, 3 – мідна трубка



У даному витратомірі неоново-гелієвий лазер 1 з'єднаний з волоконним світловодом 2. Даний світловод прокладений вздовж осі мідної трубки 3 (діаметром 30 мм і довжиною 500 мм), по якій рухається рідина, що вимірюється. Протилежний кінець світловода 3 з'єднаний з фотоперетворювачем 4. Перебіг рідини викликає невелику вібрацію волоконного світловода, завдяки чому виникають фазові зміни світлового променя. Фотоперетворювач 4 виробляє сигнал, що надходить до вимірювального приладу, але після безпосереднього посилення, фільтрації та інтегрування. Головною перевагою даного витратоміра є простота його конструкції. Але точність цього приладу невисока.

Для покращення точності необхідно використовувати перетворювач, складений з волоконного світловода, який розташований по осі діаметру труби наведено на рисунку 2.12.

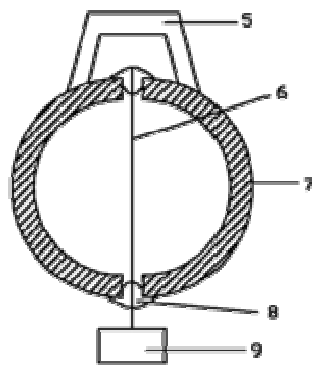


Рис. 2.12 - Оптичний витратомір з волоконним світловодом, розташованим по діаметру труби: 5 - клематримачі, 6 - світловод, 7 - трубопровід, 8 - ущільнення, 9 - вантаж

Цей прилад дає кращу точність порівняно з попереднім. Перетворювач даного витратоміра складається з тонкого скловолоконного світловода 6, натягнутого вантажем 9 і розташованого поперек трубопроводу 7. Нитка укріплена вгорі в клематримачі 5, проходячи через ущільнення 8. Джерелом світла в даному випадку є неоново-гелій лазер.

При русі вимірюваної речовини з обох боків нитки по черзі зриватимуться вихори з частотою, пропорційною об'ємній витраті. Через це даний перетворювач розглядають, як один з можливих варіантів перетворювачів вихрових витратомірів. Зриви вихорів викликають вібрацію світловода і, як наслідок, фазову модуляцію світлового променя, що проходить через нього, сприймається фотодетектором.

- Основними перевагами оптичних (лазерних) витратомірів є:
- висока точність;
- відсутність контакту з вимірюваною речовиною;
- висока чутливість;
- мала інерційність;
- широкий діапазон виміру швидкостей і витрат незалежно від фізичних властивостей вимірюваного середовища (як рідин, так і газів), за винятком вимоги прозорості середовища в діапазоні довжин хвиль, випромінюваних лазерами.

Найбільш перспективно застосування оптичних методів в експериментальній гідродинаміці, особливо в області турбулентних явищ, вивчення яких традиційними способами не дає бажаних результатів внаслідок малої точності приладів і, головне, спотворень, що вносяться в досліджувану структуру потоку.

Витратоміри даного типу застосовуються для оптично прозорих рідин, до яких належать вода, гас, бензин, спирт, розчини сірчаної, азотної кислот та газів. Також лазерні витратоміри використовують при вимірюванні витрати агресивних, високо- та низькотемпературних (криогенних) рідин та газів.

## **Висновки до розділу 2**

Амплітудні ВОД прості за конструкцією. Галузь застосування амплітудних ВОД на основі модуляції випромінювання зі змінним коефіцієнтом поглинання середовища обмежена вимірюванням температури,

дозі радіації та напруженості електричного поля тому що відсутні матеріали, що ефективно змінюють поглинання при інших фізичних впливах.

Основними перевагами оптичних (лазерних) витратомірів є:

- висока точність;
- відсутність контакту з вимірюваною речовиною;
- висока чутливість;
- мала інерційність;
- широкий діапазон виміру швидкостей (0,1 ... 100 м / с) і витрат незалежно від фізичних властивостей вимірюваного середовища (як рідин, так і газів), за винятком вимоги прозорості середовища в діапазоні довжин хвиль, випромінюваних лазерами.

Найбільш перспективним є використання оптичних методів в експериментальній гідродинаміці, особливо в області турбулентних явищ, вивчення яких традиційними способами не дає бажаних результатів через недостатню точність приладів і, головне, внесення ними спотворень в досліджувану структуру потоку.

Витратоміри даного типу застосовуються для оптично прозорих рідин, до яких відносяться вода, гас, бензин, спирт, розчини сірчаної, азотної кислот і газів. Також лазерні витратоміри використовують при вимірюванні витрати агресивних, високо- і низькотемпературних (криогенних) рідин і газів

### РОЗДІЛ 3.

## РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ВИТРАТОМІРА

Волоконно-оптичний витратомір для контролю витрат рідин, що легко займаються, складається з основи, одномодових основного та додаткового волоконно-оптичних світловодів, джерела випромінювання та фотоприймача. Випромінювання надходить від джерела та повертається до фотоприймача від основного та додаткового волоконно-оптичних світловодів через мультиплексор/демультиплексор, основний та додатковий волоконно-оптичні світловоди є одним світловодом з відбиваючими шарами на торцях з сапфірового скла, коаксіально до якого розташовані чутливий світловод, оболонка та основа, на якій з боку виміральної частини закріплені профільовані лопаті для взаємодії з потоком рідини та створення деформації зсуву у коаксіальному чутливому світловоді, а в нижній частині основи розташовано термокомпенсаційну біметалеву пластину.

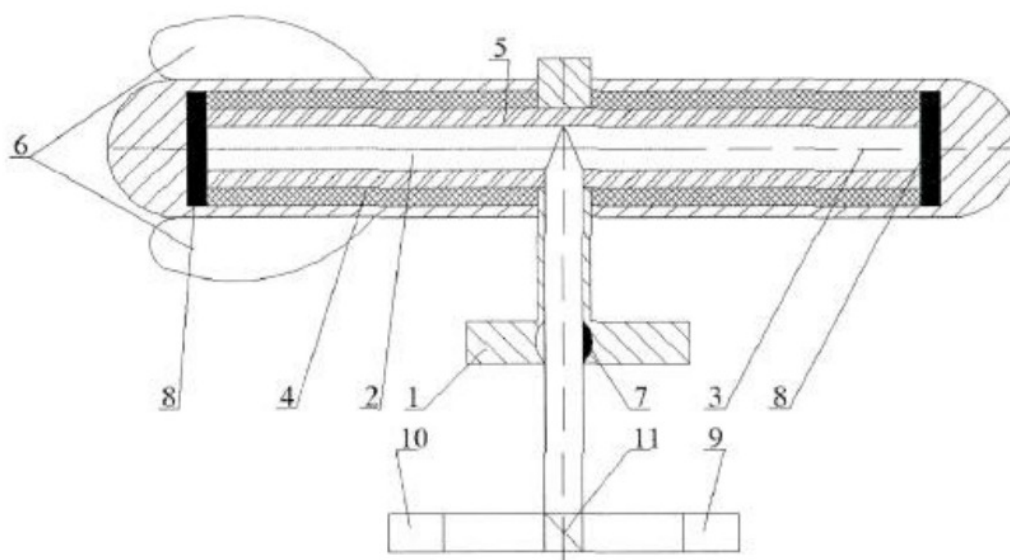


Рис. 3.1. Схема витратоміра

<b>Кафедра АКСУ</b>				<b>НАУ 21.11.82 ПЗ</b>			
Виконав.	Разицький Д.С.			Розділ 3. Розробка структурної схеми волоконно-оптичного витратоміра	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Дивнич М. П.						
Консульт.	Дивнич М. П.						
Контрол.	Дивнич М. П.						
Зав. каф.	Мельник Ю. В.						
					<b>151-203М-СУ</b>		

Функціональна схема витратоміра представлена на рис. 3.1. належить до пристроїв контролю витрати рідини, оснований на керуванні властивостями оптичних світловодів.

Область застосування - системи контролю операцій при перевантаженні рідин, що легко займаються. Розроблений волоконно-оптичний витратомір, що містить основу, джерело оптичного випромінювання, світловод, що працює в багатомодовому режимі, фотоприймач і натягувач світловоду. Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням натягувача багатомодового світловода:

- мала точність виміру масової витрати;
- наявністю тільки одного вимірювального каналу;
- необхідність постійного підтримання геометрії вимірювального оптичного каналу в умовах впливу кліматичних та експлуатаційних факторів;
- наявністю натягувача, який виконаний у вигляді тіла, що у потоці рідини, за рахунок форми, створює додатковий опір, а також робить коливання, але з іншою частотою, і тим самим модулює паразитний оптичний сигнал;
- відсутність можливості компенсації впливу температури контрольованого та навколишнього середовищ;
- складність заміни та очищення пошкодженого світловода.

Розроблений також волоконно-оптичний витратомір, що містить основу, основне джерело випромінювання, основний одномодовий світловод, установлений на кріпильному елементі, що має в перерізі симетричний аеродинамічний профіль, основний фотоприймач, додаткові одномодовий світловод, джерело випромінювання, фотоприймачі й оптичні дільники.

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням вимірювальних світловодів, які попередньо випробували деформацію розтягування на кріпильному елементі:

- необхідність вживання додаткових мір по захисту вимірювальних світловодів від впливу коливальних процесів, що генеруються судновим обладнанням, з близькими частотами до робочих частот витратоміра;

- необхідність ретельного позиціювання основного та додаткового світловодів відносно осьової лінії потоку контрольованого середовища для забезпечення ідентичності умов для обох вимірювальних каналів;

- неможливість урахування впливу кліматичних та експлуатаційних факторів на результати вимірювання;

- відсутність можливості компенсації впливу температури контрольованого та навколишнього середовищ;

- необхідність наявності додаткових джерела випромінювання та фотоприймача;

- складність заміни та очищення пошкодженого світловода.

Для підвищення точності вимірювання потрібно розробити волоконно-оптичного витратоміра, у якому вимірювальний та додатковий оптичні канали розташовані в ідентичних умовах відносно потоку контрольованої рідини, відсутні додаткові механічні натягувачі світловодів, присутня можливість компенсації коливань температури зовнішнього середовища та одночасно збережені надійність, чутливість та простота схемотехнічних рішень витратомірів відомих типів.

Така задача може бути вирішена таким чином, що волоконно-оптичний витратомір для контролю витрат рідин, що легко займаються, що складається з основи, одномодових основного та додаткового волоконно-оптичних світловодів, джерела випромінювання та фотоприймача, згідно з корисною

моделлю, випромінювання надходить від джерела та повертається до фотоприймача від основного та додаткового волоконно-оптичних світловодів через мультиплексор/демультиплексор, основний та додатковий волоконно-оптичні світловоди є одним світловодом з відбиваючими шарами на торцях з сапфірового скла, коаксіально до якого розташовані чутливий світловод, оболонка та основа, на якій з боку вимірювальної частини закріплені профільовані лопаті для взаємодії з потоком рідини та створення деформації зсуву у коаксіальному чутливому світловоді, а в нижній частині основи розташовано термокомпенсаційну біметалеву пластину.

Комбінація оптико-механічних елементів забезпечує:

- компенсацію впливу неконтрольованих експлуатаційних та кліматологічних факторів на вимірювальний та додатковий канал;
- відсутність додаткових механічних натягувачів світловодів;
- захищеність чутливих елементів пристрою;
- постійність геометрії оптичного каналу в умовах впливу неконтрольованих експлуатаційних факторів;
- ідентичність розташування основного та додаткового каналів відносно потоку контрольованої рідини;
- підвищену чутливість та точність приладу.

Функціональна схема волоконно-оптичного витратоміра для контролю рідин, що легко займаються, представлена на рис 3.1. Він складається з основи 1, волоконно-оптичного світловода, який поділяється на основний 2 та додатковий 3 та має відбиваючі шари 8 з сапфірового скла на торцях. Коаксіально до основного та додаткового світловодів розташований чутливий світловод 5, оболонка 4 та корпус основи. На корпусі основи розташовані профільовані лопаті, а у корпусі термокомпенсаційна біметалева пластинка 7, що контактує зі світловодом.

Випромінювання від джерела 9, через мультиплексор 11, де відбувається розподіл за двома довжинами хвиль, надходить до основного та додаткового світловодів. Після впливу потоку рідини на профільовані лопаті у основі та у зв'язаним з нею чутливому світловоді відбувається динамічна деформація зсуву. Ця деформація викликає зміну показника заломлення чутливого світловода. Зміни, що відбуваються, викликають порушення умов повного відбивання світла у чутливому світловоді та ініціюють тунелювання частки випромінювання з основного та додаткового світловодів до чутливого світловода. Таким чином, частка світла випромінюється за межі основного та додаткового світловодів.

Частка випромінювання, що збереглася у основному та чутливому світловодах відбивається від шарів сапфірового скла та повертається через демультіплексор 11 до фотоприймача 10. Частка випромінювання, що буде зафіксована як різниця між сигналами від основного та додаткового світловодів, буде пропорційна величині витрат рідини у трубопроводі з компенсованим впливом неконтрольованих експлуатаційних факторів.

Для компенсації впливу температури навколишнього середовища на елементи пристрою застосовується термокомпенсаційна біметалева пластина, яка пропорційно температурі змінює вигин світловода та зменшує заздалегідь внесені втрати випромінювання у світловоді.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію оптико-механічних елементів.

У статичному режимі (калібрування при відсутності потоку рідини) у блоці реєстрації фіксуються відповідні дані та поправки, що враховують температуру навколишнього середовища та втрати в усіх елементах вимірювальної системи.

У динамічному режимі (вимірювання), після впливу потоку рідини на профільовані лопаті у основі з боку вимірювальної частини відбувається



динамічна деформація зсуву. Ця деформація викликає аналогічний процес у коаксіальному чутливому світловоді. Внаслідок кручення світловода відбувається зміна показника заломлення світла світловоду. Зміни, що відбуваються, викликають порушення умов повного відбивання світла у світловоді та ініціюють тунелювання частки випромінювання з основного світловода до чутливого світловода. Таким чином, частка світла випромінюється за межі основного світловода. У додатковому світловоді відбуваються лише втрати випромінювання, ініційовані впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Частка випромінювання, що збереглася у основному та чутливому світловодах, відбивається від шарів сапфірового скла та повертається через демультіплексор до фотоприймача.

Після надходження до фотоприймача сигналів від основного та додаткового світловодів вони віднімаються один від іншого в блоці обробки. Таким чином, результуючий сигнал буде пропорційним величині витрат рідини у трубопроводі з компенсованим впливом неконтрольованих експлуатаційних факторів.

Для компенсації впливу температури навколишнього середовища на елементи пристрою застосовується термокомпенсаційна біметалева пластина, яка пропорційно температурі, змінює вигин світловода та зменшує заздалегідь внесені втрати випромінювання у світловоді.

Таким чином, відбувається повний цикл вимірювання.

### **3.1 Вибір фотоприймача для проектного пристрою**

Лавинний фотодіод для  $x$  компоненти.

В якості фотоприймача для  $x$  компоненти, пропонується використовувати лавинний фотодіод, який зображений на рис. 3.2.

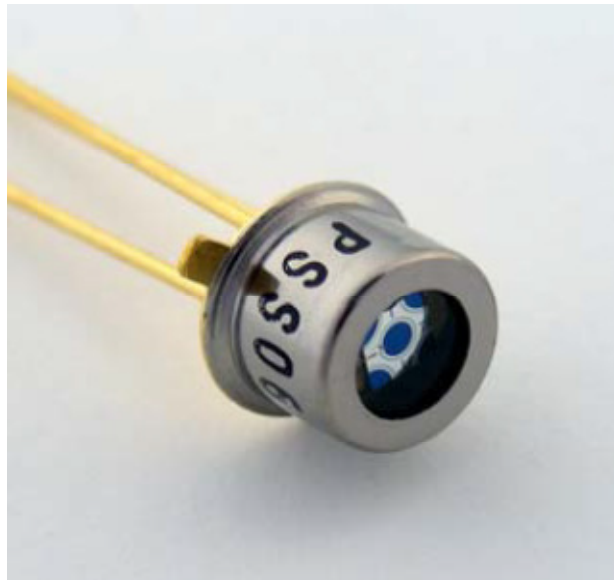


Рис. 3.2. Лавинний фотодіод

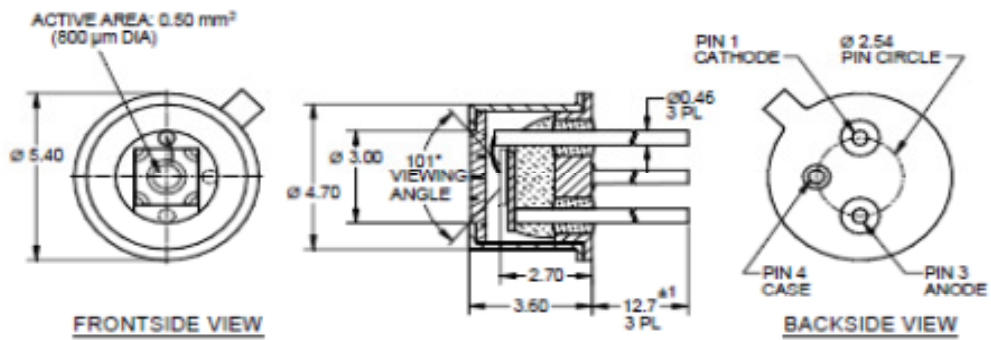


Рис. 3.3. Конструктивне виконання лавинного фотодіода  
Особливості лавинного фотодіода: висока швидкість, низький рівень шуму,  $\varnothing$  800 мкм активна область, висока швидкість фотометрії.

## Абсолютні максимальні параметри

Позначення	Параметри	мін	макс
$T_{stg}$	Температура зберігання	-55	+125 <sup>0</sup> C
$T_{op}$	Робоча температура	-40	+100 <sup>0</sup> C
$T_{пайки}$	Температура пайки 10 с		+200 $\mu$ A
IPN (AC)	Імпульсний вхід сигналу 50 $\mu$ A вкл/викл		1 mA

## Спектральний діапазон

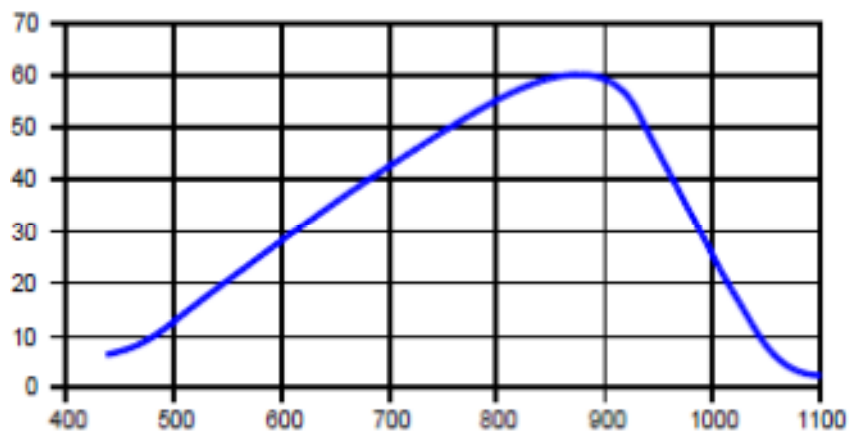


Рис. 3.4. Залежність чутливості від довжини хвилі

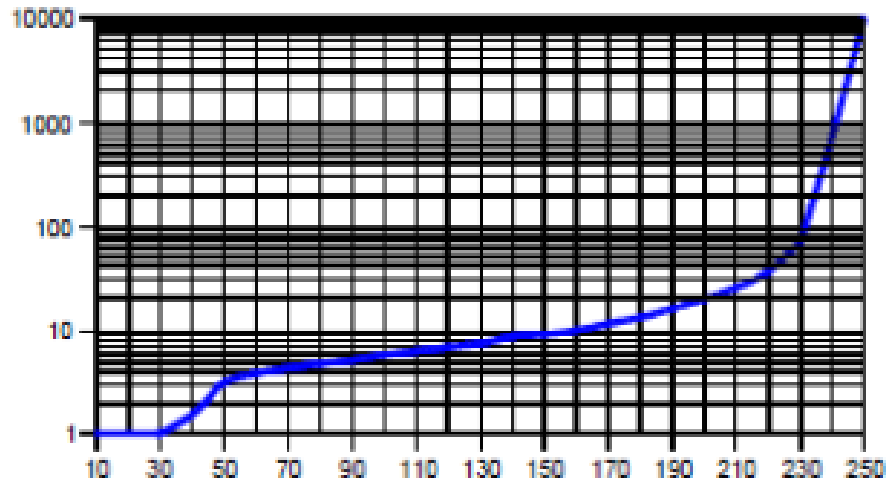


Рис. 3.5. Залежність амплітуди від напруги зміщення

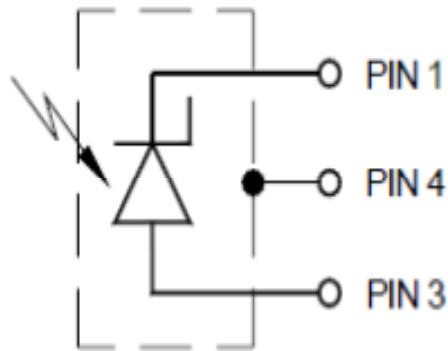


Рис. 3.6. Прилад схеми фотодіода

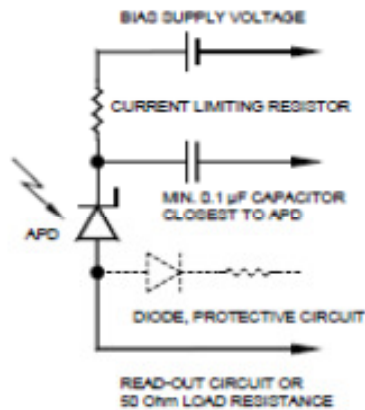


Рис. 3.7. Принципова схема фотодіода

### 3.2. Розрахунок частотного фільтра

Частотний фільтр. Оберемо схему  $RC$ – фільтра, що характеризується симетричністю АЧХ відносно значення одиночного посилення, малими нелінійними спотвореннями сигналу, оскільки включені в ланцюг від’ємного зворотного зв’язку ОП. Для роботи використовуються лінійні потенціометри. Принципова схема фільтра зображена на рисунку 3.8.

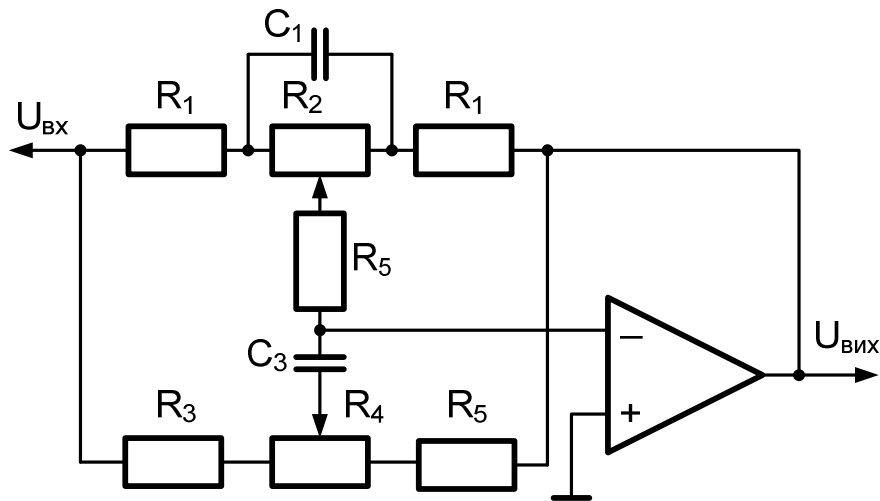


Рис.3.8. Принципова схема фільтра

При розробці даного варіанту віброметра нами передбачене коректування частоти  $f_{\omega}$  від сигналів з тахометричної апаратури. Оскільки в схемі на рис. 3.8. цю частоту визначає конденсатор  $C_1$ , то буде доцільно його замінити на елемент з ємністю, що змінюється під впливом управляючого сигналу. Якщо замінити конденсатор  $C_1$  на варикап, схема прийме наступний вигляд, зображений на рисунку 3.9.

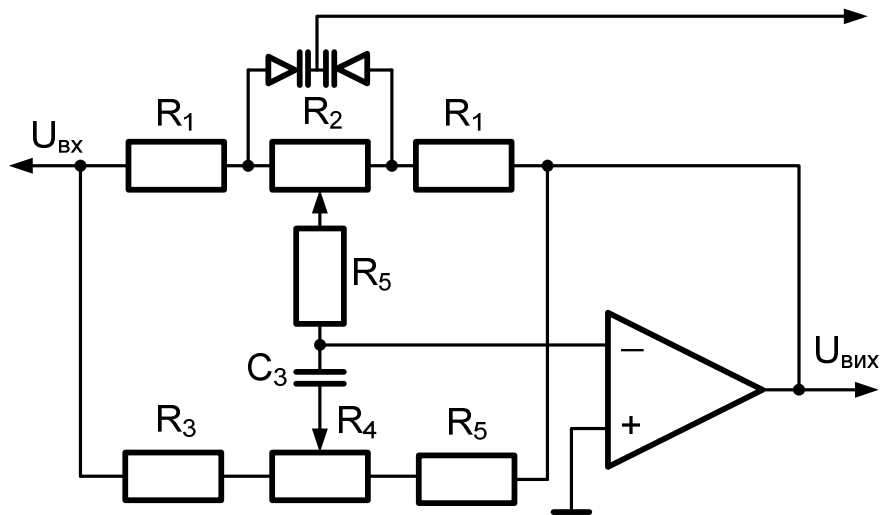


Рис.3.9. Принципова схема фільтра з коректуванням частоти сигналу

Зробимо розрахунок схеми, користуючись з початку при розрахунках конденсатором  $C_1$ , а потім за отриманими даними оберемо тип варикапу.

Значення елементів схеми розраховуються в такій послідовності: вибираємо опір  $R_2$  довільно рівним 1000 кОм. По формулі коефіцієнта передачі:

$$K_n = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 10(+ 20 \text{ дБ})$$

знайдемо значення опору  $R_1 = 110$  кОм.

По заданій нижній частоті  $f_n = 65$  Гц. Визначаємо ємність конденсатора  $C_1$

$$f_n = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}, \text{ звідки}$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_n R_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 65 \cdot 110 \cdot 10^3} = 2,2 \cdot 10^{-8} = 22 \text{ пФ}$$

За даними розрахунку конденсатора  $C_1$  вибираємо варіант KB107B, у якого ємність змінюється в межах від 30 пФ до 65 пФ при зміні напруги сигналу від 2 до 9 В. Оскільки в схемі варикапи стоять послідовно, тому їх

сумарна ємність буде у два рази менше. При підключенні послідовно двох варикапів KB107В необхідна ємність якраз і досягається.

Довільно вибираємо опір  $R_5$ , рівним опорі  $R_1 = 110$  кОм. Після цього за формулою коефіцієнта передачі знаходимо значення  $R_3$ :

$$K_e = 1 + \frac{(R_1 + 2R_5)}{R_3}$$

$$R_3 = \frac{R_1 + 2R_5}{10 - 1} = \frac{110 \cdot 10^3 + 2 \cdot 110 \cdot 10^3}{9} = 36 \text{ кОм.}$$

По заданій частоті  $f_a = 300$  Гц знайдемо ємність конденсатора  $C_3$ :

$$f_e = \frac{1}{2\pi R_3 C_3}, \text{ звідки}$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_e R_3} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot 36 \cdot 10^3} = 1,47 \cdot 10^{-8} = 14,7 \text{ пФ.}$$

З нерівності  $R_4 \geq 10(R_3 + R_1 + 2R_5)$  вибираємо значення опорі  $R_4$ :

$$R_4 = 10(36 \cdot 10^3 + 110 \cdot 10^3 + 2 \cdot 110 \cdot 10^3) = 336 \text{ кОм.}$$

Отже, виходячи з розрахунків, приймаємо наступні номінали елементів:

$$R_1 = 110 \text{ кОм;}$$

$$R_2 = 1000 \text{ кОм;}$$

$$R_3 = 36 \text{ кОм;}$$

$$R_4 = 370 \text{ кОм;}$$

$$R_5 = 110 \text{ кОм;}$$

$$C_3 = 15 \text{ пФ;}$$

$C_1$  – два послідовно з'єднаних варикапа KB107В.

Для побудови фільтра застосуємо операційний підсилювач серії К553УД1, що має наступні параметри:

– вхідний струм  $I_{вх}$  – 1500 мА;

- різниця вхідних струмів  $\Delta I_{ex} - 500 \text{ мА}$ ;
- вхідний опір  $R_{ex} - 150 \text{ Ом}$ ;
- напруга зміщення нуля  $U_{zm} - 7,5 \text{ мВ}$ ;
- коефіцієнт підсилення напруги  $K_{nu} - 1,5 \cdot 10^4$ ;
- максимальна вихідна напруга  $U_{вих \text{ max}} - \pm 10 \text{ В}$ ;
- напруга живлення  $U_{ж} - \pm 15 \text{ В}$ ;
- струм споживання  $I_{сп} - 6 \text{ мА}$ .

Принципова схема ОП К553УД1 з ланцюгами корекції приведено на рисунку 3.10.

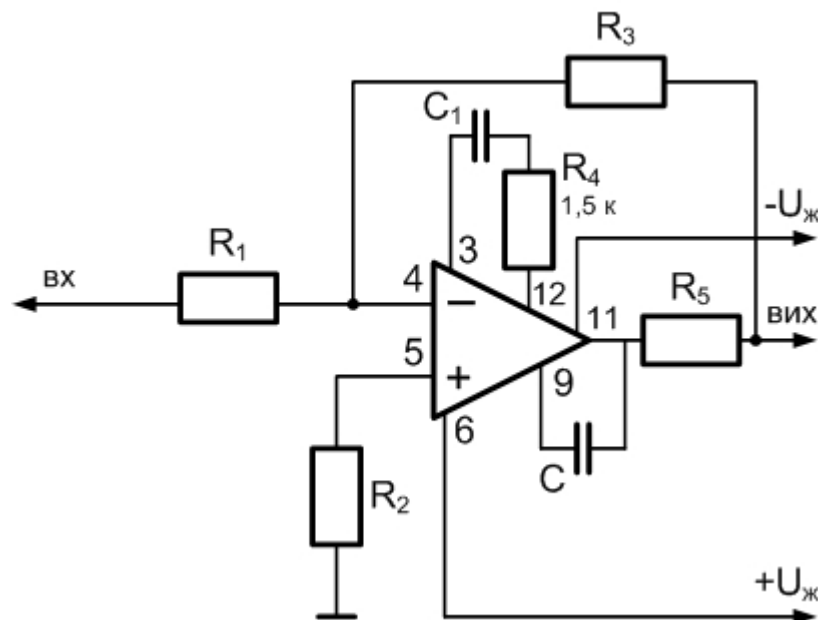


Рис.3.10. Принципова схема ОП К553УД1 з ланцюгами корекції

### Висновки до розділу 3

Лазерний доплерівський витратомір дозволяє з високою точністю вимірювати витрату оптично активних середовищ. Це досягається за рахунок використання лазера, правильно підбраного світлодіоду.

Використання схеми (Рис.3.1)





## РОЗДІЛ 4.

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Екологічна безпека – стан навколишнього природного середовища, при якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей.

Всю різноманітність екологічних факторів ділять за походженням і характером дії на дві великі групи — абіотичні і біотичні. До абіотичних відносять фактори неорганічної, або неживої, природи, до біотичних — вплив живої природи, а також людини. Антропогенний фактор — такий фактор, агентом якого є людина (безпосередньо або внаслідок своєї діяльності). Роль антропогенного фактора весь час зростає.

Однією з найважливіших проблем людства є проблема збереження довкілля та перехід суспільства до сталого розвитку. Охорона довкілля – складна, багатогранна проблема, потребує свого рішення як глобальних, і локальних зусиль країн і регіонів. При вирішенні екологічних проблем важко переоцінити роль екологічного виховання та освіти, і навіть підготовки екологічних кадрів. Практичне використання екологічних знань для вирішення безлічі завдань, що висуваються сучасним рівнем розвитку науки, вимагає більш поглиблених і спеціальних знань у різних розділах дисципліни «Екологія».

Кафедра АКСУ				НАУ 21.11.82 ПЗ			
Виконав.	Разицький Д.С.			Розділ 4. Охорона навколишнього середовища	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник	Дивнич М. П.						
Консульт.	Гай А. Є.						
Контрол.Кон	Дивнич М. П.						
Зав. каф.	Мельник Ю. В.						
					151-203М-СУ		

#### **4.1. Законодавство України про охорону навколишнього середовища**

Роль права в регулюванні взаємодії природи й суспільства складається в становленні науково обґрунтованих правил поведінки людини стосовно природи. Найважливіші правила такого відношення закріплені державою в законодавстві й стають обов'язковими для виконання й підтримки нормами

права, які забезпечуються державним тиском у випадку їхнього невиконання.

Серйозним недоліком діючого сьогодні природоохоронного законодавства є той факт, що формувалося воно по ресурсних особливостях, тобто окремому регулюванню підлягають земельні, водні, гірські, лісові, атмосфероохоронні й інші взаємини. Такий підхід не забезпечував комплексності в регулюванні відносин до природи як до єдиного організму.

З перших законодавчих кроків суверенної України визначені основи забезпечення екологічних прав людини. Закон «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 року не тільки проголошує, але й передбачає систему гарантій екологічної безпеки людини, упорядковує систему керування в галузі природокористування. Він закріплює право громадян України на безпечну для життя навколишнє середовище. Це невід'ємне право реалізується шляхом участі громадян в обговоренні проектів законодавчих актів й інших рішень у галузі охорони навколишнього середовища; участі в розробці й впровадженні мер по охороні навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів; об'єднання в цивільні природоохоронні організації; одержання повної й правдивої інформації про стан навколишнього природного середовища.

Закон дає громадянам України право звертатися в суд з позовом на підприємства й організації із приводу оплати збитків, нанесених здоров'ю й майну внаслідок негативного впливу на навколишнє середовище. Він ставить за обов'язок державним органам подавати всебічну допомогу громадянам у здійсненні природоохоронної діяльності й урахувати їх побажання стосовно цієї діяльності.

Згідно із цим Законом громадяни України мають не тільки права, але й обов'язку стосовно заощадження природи, раціонального використання її багатства, підтримка законодавства про охорону навколишнього середовища. У законі зазначені принципи охорони навколишнього природного середовища:

- пріоритетність вимог екологічної безпеки;
- гарантування екологічно безпечного середовища для життя й здоров'я людей;
- екологізація матеріального виробництва;
- науково обгрунтоване співвідношення екологічних, економічних і соціальних інтересів суспільства;
- збереження просторової й видової різноманітності й цілісності природних об'єктів і комплексів;
- стягнення плати за спеціальне використання природних ресурсів, за забруднення навколишнього природного середовища й зниження якості природних ресурсів й ін.

Закон закріплює екологічні права й обов'язки громадян України:

- право на безпечну для життя й здоров'я навколишнє середовище;
- участь в обговоренні проектів законодавчих актів, матеріалів про розміщення й реконструкцію об'єктів, які можуть негативно впливати на стан навколишнього середовища;

- право звертатися в суд з позовом на підприємства й організації із приводу оплати збитків, нанесених здоров'ю й майну внаслідок негативного впливу на навколишнє середовище.

Громадяни України зобов'язані:

- оберігати природу, охороняти, раціонально використати її багатства, робити діяльність відповідно до вимог екологічної безпеки, екологічних нормативів;

- не порушувати екологічні права й законні інтереси інших суб'єктів;

- вносити плату за спеціальне природокористування;

- компенсувати шкода, нанесена забрудненням й іншим негативним впливом на навколишнє природне середовище.

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» визначає поняття екологічної безпеки й міри її забезпечення, екологічні вимоги до розміщення, проектуванню, будівлі, реконструкції, введенню в дію підприємств й інших об'єктів, про застосування мінеральних добрив, засобів захисту рослин, токсичних хімічних речовин; передбачає міри охорони навколишнього природного середовища від шкідливого біологічного впливу, впливу фізичних факторів і радіоактивного забруднення, від забруднення промисловими, побутовими й іншими відходами.

Земельний кодекс України, прийнятий 13 березня 1992 року регулює охорону й раціональне використання землі. У цьому кодексі встановлено три форми власності на землю: державна, колективна й приватна. Право на одержання землі в приватну власність за плату або безкоштовно мають громадяни України. Земельні ділянки можуть бути дані на постійне або тимчасове користування, у тому числі на умовах оренди.

Охорона коштовних і продуктивних земель (земель природоохоронного, реакційного призначення, курортів) досягається прийняттям особливого порядку їхнього відбору для державних і цивільних

потреб. Відбір особливо коштовних продуктивних земель, землі науково-експериментальних об'єктів, заповідників, національних, дендрологічних, меморіальних парків, поховань й археологічних місць не допускається.

При розміщенні, проектуванні й введенні в дію нових і реконструйованих об'єктів і споруджень необхідно передбачити вимоги екологічних і санітарних заходів щодо охорони землі. При порушенні вимог земельного законодавства вводиться в дію адміністративна, кримінальна або матеріальна відповідальність.

Водний кодекс України забезпечує правову охорону води від забруднень, засмічень і виснаження й регулює порядок її використання. Водний кодекс визначає пріоритетів питного й побутового водокористування. З метою охорони води, що використовується для питних і побутових, курортних, лікувальних й оздоровчих потреб, визначаються зони санітарної охорони із суворим режимом використання.

У водному кодексі закріплені обов'язки водокористувачів стосовно раціонального використання водних об'єктів, ощадливого використання води, поновлення й поліпшення її якості. Власники засобів водного транспорту, лісосплавні організації повинні не допускати забруднення й засмічення води внаслідок втрати масел, хімічних речовин, нафтопродуктів, відходів деревини.

Лісовий кодекс, прийнятий 21 січня 1994 року, регулює відносини по охороні й поновленню лісів, збільшення їхніх корисних якостей і продуктивності, раціонального використання лісу з метою задоволення потреб суспільства в лісових ресурсах.

У лісовому кодексі визначені основні завдання, вимоги й зміст організації лісового господарства, критерії розподілу лісу на дві групи по його екологічному й господарському значенні; визначені порядок і види загального й спеціального використання лісових ресурсів, права й обов'язки

лісокористувачів; порядок охорони й захисту лісу; плата за використання ресурсів, економічне стимулювання охорони, захисту, раціонального використання. Також зазначена відповідальність за порушення лісового господарства.

Кодекс України про копалини, прийнятий 24 липня 1994 року, регулює гірничодобувні відносини з метою забезпечення раціонального, комплексного використання копалин для задоволення потреб суспільства в мінеральній сировині, охороні копалин, гарантує безпеку людей, майна, охорону природного середовища при користуванні копалинами.

Закон України про охорону атмосферного повітря, прийнятий 16 жовтня 1991 року, спрямований на збереження сприятливого стану атмосферного повітря, його відновлення й поліпшення для забезпечення екологічної безпеки людини, а також запобігання впливу на навколишнє природне середовище.

Закон визначає екологічні закони й нормативи в галузі охорони атмосферного повітря, екологічної безпеки атмосферного повітря (ПДК ГДВ забруднюючих речовин). Підприємства й організації, діяльність яких пов'язана зі шкідницьким впливом на атмосферне повітря, повинні вживати заходів по зменшенню кількості небезпечних викидів, забезпечувати контроль за обсягом і составом забруднюючих речовин.

Закон «Про природно-заповідний фонд України», прийнятий 16 червня 1992 року, визначає правові основи організації, охорони й використання природно-заповідного фонду, відновлення його природних комплексів й об'єктів. До природно-заповідного фонду належать заповідники, дендропарки, ботанічні сади, заказники й ін.

#### **4.2. Захист навколишнього середовища в авіабудуванні**

Відповідність нового літака сучасним вимогам, його конкурентоздатність на світовому ринку визначаються не тільки

досконалістю конструкції, можливістю уніфікації матеріалів для здійснення його виробництва та ремонту, але і відповідністю сучасним, дуже жорстким вимогам до збереження навколишнього середовища.

Основним фізичним забруднювачем навколишнього середовища на авіапідприємстві є шум. Під шумом розуміють всі неприємні й небажані звуки і їхні сукупності, які заважають нормально працювати, сприймати звукові сигнали, відпочивати. Узагальнено шум - це хаотичне накопичення звуків різної частоти, сили, висоти, тривалості, які виходять за межі звукового комфорту. Джерелами шуму є всі види транспорту, промислові підприємства (устаткування, інструмент, технологічні процеси), ліфти, телевізори, радіоприймачі, юрби людей. Шум негативно впливає на здоров'я людини, знижують працездатність, приводять до захворювань серцево-судинних, нервових, ендокринної систем й органів слуху.

Боротьбу із шумом варто починати на етапі проектування підприємств або його реконструкції. Проектуючи підприємство, варто враховувати його далекість від житлової зони, варто передбачити раціональне розміщення окремих будинків і цехів усередині будинків. Для ізоляції фундаментів будинків з рівнем звукового тиску вище 90 Дб, улаштовують так називані акустичні розриви -, що йдуть по всьому периметрі щілини, заповнені ізолюючим матеріалом. Між « гучними цехами » улаштовують вільні зони, які для більшої ефективності озеленюють, тому що листя добре поглинає шум. При плануванні цехів і ділянок усередині будинку необхідно поєднувати верстати й устаткування по ступені їхньої гучності. Найбільш ефективним заходом щодо боротьби із шумом треба вважати його зниження в джерелах утворення, тобто безпосередньо в агрегатах, машинах, механізмах т.п.

Міри захисту атмосфери від забруднення промисловими відходами умовно можна розділити на дві групи - технічні й містобудівні. Технічні міри передбачають створення безвідхідних і маловідходних промислових



підприємств, очищення газів, ефективне спалювання палива, будівництво високих труб. Завдяки містобудівним мірам відбувається дисперсне розміщення забруднюючих підприємств, створюються в містах захисний<sup>^</sup>-захисні-санітарно-захисні зони, відбувається висадження дерев.

Розробка безвідхідного й маловідхідного виробництва - основний напрямок охорони навколишнього середовища, це завдання стратегічне й розраховане на тривалий час. Найбільш радикальний спосіб виключення викидів - зміна технології виробництва, при якій виробничий процес зовсім не дає відходів або діє за замкнутим циклом.

У наш час основними заходами попередження шкідливим викидам залишається розробка й впровадження ефективних систем очищення газів.

З метою знешкодження аерозолів, насамперед пилу, використовують сухі, мокрі й електричні методи. З метою знешкодження газових відходів від токсичних речовин використовують методи абсорбції, адсорбції, термічні методи.

Очищення промислових стічних вод. Характер і состав стічних вод, що скидають промисловими підприємствами, досить різноманітні, різноманітні тому й методи очищення їх від забруднень. Вибір методу очищення залежить від багатьох факторів і насамперед від фізичного стану, що втримуються в стоках, забруднень. Вибір методу очищення залежить від концентрації забруднюючої речовини, і від того, у якому стані перебуває розчинена речовина.

Для очищення стоків у цей час застосовуються головним чином наступні методи:

- механічні методи застосовуються для видалення зважених часток зі стічних вод (посвітління стічних вод), відстоювання в гравітаційному полі (у

відстійниках) і в поле відцентрових сил (у гідроциклонах), проціджування, флотація й фільтрування;

- хімічні методи застосовують у тих випадках, коли виділення забруднювачів можливо тільки в результаті хімічних реакцій між забруднювачами й уводять реагентами, що, з утворенням нових речовин, які легко видалити зі стічних вод. Для цього застосовують нейтралізацію, коагуляцію й флокуляцію;

- хімічні та фізико-хімічні методи вимагають застосування реагенту й засновані на зміні фізичного стану забруднювачів, які полегшують їхнє видалення зі стоків. До них ставляться флотація, отдувка, електрохімічні методи;

- біохімічні методи засновані на здатності деяких мікроорганізмів руйнувати органічні й деякі неорганічні з'єднання (наприклад, сульфідів й солі амонію), перетворюючи їх у нешкідливі продукти окислювання: воду, двоокис вуглецю, нітрат- і сульфатіони й ін.;

- термічні методи полягають у повнім окислюванні при високій температурі (при згорянні) забруднюючих речовин з одержанням нетоксичних продуктів згорання й твердого залишку. Можливі різні варіанти застосування термічного методу, починаючи від повного знищення стоків з найбільшою кількістю твердого залишку й до значного зменшення (розпарювання) їх, після чого концентровані розчини можна поховати у відвалах, або використати для одержання коштовних продуктів.

Більшість деталей інтер'єра, внутрішнього силового набору, і сам літак після зборки й доведення проходить фарбування в малярському цеху. У процесі фарбування й сушіння відбувається практично повний перехід легкозаймистої частини фарби в пароподібний стан. Частина цих пар виділяється в процесі нанесення покриттів, а інша - при сушінні.

- витратоміри не надають хімічних, механічних, радіаційних, електромагнітних, термічних та біологічних впливів на навколишнє середовище;

- після закінчення встановленого терміну служби витратоміри не наносять шкоди здоров'ю людей та навколишньому середовищу;

- утилізація повинна проводитись відповідно до правил, що існують в експлуатуючій організації.

Матеріали, що застосовуються при виготовленні витратоміра, не повинні утримувати шкідливих речовин, що забруднюють природне середовище та впливаючи шкідливо на організм.

Матеріали, що використовуються при виготовленні датчика витрати рідини, повинні бути дозволені до застосування органами МОЗ України.

Після закінчення встановленого терміну служби витратоміри не повинні завдавати шкоди здоров'ю людей та навколишньому середовищу.

#### Утилізація

Матеріали та комплектуючі, що використовуються для виготовлення витратоміра, не надають шкідливого на природу. Вимоги забезпечуються схемотехнічними рішеннями та конструкцією приладу. Особливих вимог до утилізації приладу не потрібні.

Утилізацію слід здійснювати відповідно до чинних у державі законодавчих актів.

### **4.3. Вплив лазерного випромінювання на навколишнє середовище та живі організми**

Слова "лазер" - аббревіатура, що утворена з початкових букв англійської фрази Light amplification by stimulated emission of radiation - посилення світла за рахунок створення стимульованого випромінювання.

Отже, лазер, або оптичний квантовий генератор, - це генератор електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, який ґрунтується на використанні примусового (стимульованого) випромінювання.

Лазер як технічний пристрій складається з трьох основних елементів:

- активного середовища;
- системи накачки;
- відповідного резонатора.

Основними технічними характеристиками лазерів є:

- довжина хвилі ( $\lambda$ ). мкм;
- ширина лінії випромінювання ( $\Delta\lambda$ ) і
- інтенсивність випромінювання лазерів визначається за величиною енергії ( $W$ ) або потужності ( $P$ ), Дж або Вт;
- тривалість імпульсу ( $\tau$ ), с;
- частота імпульсів ( $F$ ), Гц.

Лазерна установка включає активну (лазерну) середу з оптичним резонатором, джерело енергії її збудження і, як правило, систему охолодження. За рахунок монохроматичності лазерного променя і його малої розбіжності створюються виключно високі енергетичні експозиції, дозволяють отримати локальний термoeфект. Це є підставою для використання лазерних установок при обробці матеріалів (різання, свердління, поверхневе загартування та ін.), В хірургії тощо.

Лазерне випромінювання (здатне поширюватися на значні відстані і відбиватися від кордону розділу двох середовищ, що дозволяє застосовувати цю властивість для цілей локації, навігації, зв'язку і т. Д. Шляхом підбору тих чи інших речовин в якості активного середовища лазер може індукувати випромінювання практично на всіх довжинах хвиль, починаючи з ультрафіолетових і закінчуючи довгохвильовими інфрачервоними. Найбільшого поширення в промисловості отримали лазери, які генерують електромагнітні випромінювання з довжиною хвилі 0,33; 0,49; 0,63; 0,69; 1,06; 10,6 мкм.

Дія лазерів на організм залежить від параметрів випромінювання (потужності) і енергії опромінення на одиницю поверхні, довжини хвилі, тривалості імпульсу, частоти імпульсів, часу опромінення, площини

поверхні, що опромінюється), локалізації впливу і анатомо-фізіологічних особливостей об'єкта, що опромінюється.

Залежно від специфіки технологічного процесу робота з лазерним обладнанням може супроводжуватися дією на персонал головним чином відбитого і розсіяного випромінювання.

Потужний потік лазерної енергії, що потрапляє на біологічні тканини, може спричинити серйозні ураження. Лазерне випромінювання впливає на живий організм шляхом теплової механічної та електричної дії. Опромінення лазерними променями може викликати функціональні порушення у діяльності ЦНС, серцево-судинної системи, ендокринних залоз. Опромінення може призвести до згортання або розпаду крові, пошкодження очей, шкіри, спричинити генетичні зміни, головний біль, розлади сну, слабкість і т. ін.

Біологічна дія лазерного випромінювання виникає внаслідок поглинання організмом його енергії, що спричиняє тепловий ефект. Термічний ефект лазерного випромінювання залежить від фізичної характеристики променів спектральної характеристики відкритих ділянок шкіри, стану кровообігу і т. ін.

Здатність організму поглинати енергію залежить від характеру тканин. Жирова тканина організму взагалі не поглинає енергію. Тепловіддача внутрішніх частин тіла дуже незначна, що спричиняє локальне нагрівання а також концентрацію поглинутої енергії в невеликому об'ємі. Цим пояснюється ураження головного мозку, внутрішніх органів і т. ін.

Під дією лазерного опромінення рідина, що оточує біологічні структури, миттєво випаровується, призводячи до різкого підвищення тиску, виникнення, внаслідок цього, ударної хвилі та механічної травми. Відбувається не тільки опік, але й розрив тканин, що становить велику небезпеку для зорового аналізатора.

Найбільшу частину лазерного випромінювання сприймає шкіряний покрив, що являє собою природний екран для захисту внутрішніх органів. Унаслідок опромінення виникають опіки і набряки шкіри різних ступенів -

від почервоніння до некрозу (омертвіння шкіри). Глибина проникнення променів залежить від пігментації шкіри. Чим шкіра темніша тим меншою є глибина проникнення променів. Поріг пошкодження темно-пігментної шкіри значно менший, ніж світло-пігментної.

Розрізняють 4 ступені ураження шкіри лазерним випромінюванням:

I ступінь - опіки епідермісу;

II ступінь - опіки дерми (пухирі поверхневих шарів дерми);

III ступінь — опіки дерми до глибоких шарів;

IV ступінь - деструкція всієї товщини шкіри, підшкірної клітковини і прилягаючих шарів.

#### **4.4. Заходи захисту від шкідливої дії лазерного випромінювання**

Захист здійснюють технічними, організаційними і лікувально-профілактичними методами і засобами.

До організаційно-технічних методів відносяться:

- вибір, планування і внутрішнє оздоблення приміщень;
- раціональне розміщення лазерних технологічних установок;
- порядок обслуговування установок;
- використання мінімального рівня випромінювання для досягнення поставленої мети;
- організація робочого місця;
- застосування засобів захисту;
- обмеження часу впливу випромінювання;
- призначення та інструктаж осіб, відповідальних за організацію і проведення робіт;
- обмеження допуску до проведення робіт;
- організація нагляду за режимом робіт;
- чітка організація протиаварійних робіт і регламентація порядку ведення робіт в аварійних умовах;

- інструктаж, плакати; - навчання персоналу.

Санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні методи включають:

- контроль за рівнями небезпечних і шкідливих факторів на робочих місцях;

- контроль за проходженням персоналом попередніх і періодичних медичних оглядів.

Виробничі приміщення, в яких експлуатуються лазери, повинні відповідати вимогам діючих санітарних норм і правил.

Лазерні установки розміщують таким чином, щоб рівні випромінювання на робочих місцях були мінімальними.

#### **Висновки до розділу 4**

В даному розділі було визначено негативні фактори впливу лазерного випромінювання на навколишнє середовище та людину, а також методи захисту від їх впливу. Були наведені допустимі норми забруднень навколишнього середовища згідно з основними стандартами. Провели аналіз з контролю технічних відходів які утворюються фабриками під час виготовлення напівпровідників, в тому числі які використовуються в потужних лазерах, тому можна зробити висновок, що світовому виробництву необхідно приділяти більше уваги центрам утилізації та подальшої переробки використаних матеріалів, а також якомога скорішого переходу до використання відновлюваних джерел електричної енергії.

При виконанні даного розділу дипломної роботи наведено перелік основних небезпечних та шкідливих факторів під час експлуатації літака, проаналізовано стан екологічної безпеки об'єкту експлуатації, виробниче сміття збирається і зберігається в спеціальних баках. Установки і агрегати, які відпрацювали свій ресурс, після дефектації, деталі, які не підлягають

подальшій експлуатації або відновленню, відправляють у централізовану утилізацію;

Стенди, станки та інше обладнання, що споживає електроенергію в період, коли вони не працюють мають бути вимкненими.



## Розділ 5.

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів. Загальними законами України, що визначають основні положення щодо охорони праці є Конституція України, Кодекс законів про працю, Закон України "Про охорону праці", Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", Закон України "Про пожежну безпеку", Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та підзаконні акти щодо охорони праці.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів. Загальними законами України, що визначають основні положення щодо охорони праці є Конституція України, Кодекс законів про працю, Закон України "Про охорону праці", Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", Закон України "Про пожежну безпеку", Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та підзаконні акти щодо охорони праці.

<b>Кафедра АКСУ</b>				<b>НАУ 21.11.82 ПЗ</b>			
Виконав.	Разицький Д.С.			<b>Розділ 5. Охорона праці</b>	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник	Дивнич М. П.						
Консульт.	Козлітін О.О.						
Контрол.	Дивнич М. П						
Зав. каф.	Мельник Ю. В.						
					<b>151-203М-СУ</b>		

Задачі техніки безпеки спрямовані на попередження нещасливих випадків на виробництві. Вони зважаються на всіх етапах створення й експлуатації авіаційної техніки.

Небезпечний (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого в певних умовах може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника.

Шкідливий (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я зниження працездатності працівника.

Умова праці – сукупність факторів виробничого середовища які впливають на здоров'я і працездатність людини в процесі її професійної діяльності.

Виробниче середовище – сукупність фізичних, хімічних, біологічних, соціальних факторів, що діють на людину в процесі трудової діяльності.

Міжгалузеві і галузеві акти з охорони праці – закони, міжгалузеві і галузеві стандарти, норми, правила, положення, інструкції і інші документи з охорони праці, яким надається сила правових норм обов'язкових для виконання.

Нагляд за охороною праці – одна з форм діяльності державних органів по дотриманню вимог законів і інших нормативних актів з охорони праці встановлених державною владою.

### **5.1. Перелік виробничих факторів, що діють на суб'єкт**

Важливим елементом організації праці на підприємстві є організація робочого місця з метою створення на кожному з них необхідних умов для високопродуктивної і високоякісної праці при якомога менших фізичних зусиллях і мінімальному нервовому напруженні працівника.

Робоче місце — це первинна ланка виробництва, зона прикладання праці одного або кількох виконавців, визначена на підставі трудових та інших діючих норм і оснащена необхідними засобами для трудової діяльності. Робоче місце як місце зайнятості людини визначає умови праці (нормальні, важкі, шкідливі), режими праці й відпочинку, характер праці (різноманітний, монотонний та ін.).

Робоче місце суб'єкта – це кімната інженерного відділу конструкторського бюро.

Умови праці — це сукупність факторів зовнішнього середовища, що впливають на здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Умови праці на кожному робочому місці формуються під впливом таких груп факторів: виробничих, санітарно-гігієнічних, факторів безпеки, інженерно-психологічних, естетичних та соціальних.

Основні фактори виробничого середовища, що впливають на працездатність людини в процесі виробництва:

- фізичне зусилля (переміщення вантажів певної ваги в робочій зоні, зусилля, пов'язані з утриманням вантажів, натисненням на предмет праці або важіль управління механізмом протягом певного часу). Розрізняють такі види фізичного зусилля: незначне, середнє, сильне і дуже сильне;

- нервові напруження (складність розрахунків, особливі вимоги до якості продукції, складність управління механізмом, апаратом, приладами, небезпека для життя і здоров'я людей під час виконання робіт, особлива точність виконання). Є такі види напруження: незначне, середнє, підвищене;

- робоче положення (положення тіла людини і його органів відносно засобів виробництва). Розрізняють обмежене, незручне, незручно-стиснене і дуже незручне робоче положення;

- виробничий шум (частота шуму в герцах, сила шуму в децибелах). Розрізняють помірний, підвищений і сильний шум;

- освітленість у робочій зоні (в люксах). Освітленість може бути нормальна, недостатня або осліплююча.

На працездатність людини також впливають особистісні фактори: її настрій, ставлення до праці, стан здоров'я.

## **5.2. Шкідливі та небезпечні виробничі чинники**

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація» шкідливі та небезпечні виробничі чинники поділяються за природою дії на наступні групи: фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

Небезпечними називаються чинники, здатні при відповідних умовах викликати гостре порушення здоров'я або загибель організму; шкідливими – чинники, що чинять негативний вплив на працездатність або викликають професійні захворювання і інші професійні наслідки.

До фізичних шкідливих та небезпечних чинників належить шум, вібрація і інші коливальні впливи, іонізуючі та неіонізуючі випромінювання, кліматичні параметри (температура, вологість і рух повітря), атмосферний тиск, рівень освітлення, а також пил і т.д.

До хімічних шкідливих і небезпечних чинників за характером впливу на організм людини належать токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні та мутагенні речовини різного агрегатного стану, що здатні викликати будь-які загальні, місцеві або віддалені в часі негативні наслідки на організм. За шляхами проникнення в організм людини вони можуть діяти через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкіряні покрови та слизові оболонки.

До біологічних шкідливих та небезпечних чинників належать патогенні мікроорганізми, мікробні препарати, біологічні пестициди, мікроорганізми – продуценти мікробіологічних препаратів.

До психофізіологічних небезпечних й шкідливих виробничих чинників за характером їх дії належать фізичні статичні й динамічні перевантаження-піднімання й перенесення вантажів, незручне положення тіла, тривалий тиск на шкіру, суглоби, м'язи та кістки; фізіологічно недостатня рухова активність (гіподинамія); нервово-психічні перевантаження – розумове перевантаження, емоційні навантаження, перенапруга аналізаторів.

Найбільший вплив на працівника при роботі з комп'ютерами мають наступні шкідливі та погрожуючі життю і здоров'ю виробничі фактори:

- підвищений рівень шуму;
- недостатня штучна освітленість робочого місця;
- високий рівень напруги в електричній мережі, торкання до якої може викликати нещасний випадок;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

### **5.3 Джерела безпеки у волоконній оптиці для здоров'я працівників**

Основними джерелами безпеки для людини при роботі з волоконно-оптичною технікою є:

1. Гострі уламки кварцового волокна, здатні проникати в шкіру, очі та тіло, викликаючи запалення шкіри, пошкодження очей, поранення та порізи внутрішніх органів.

2. Хімічно шкідливі та отруйні речовини, що застосовуються при очищенні та обробці волоконно-оптичних компонентів, здатні проникати у легені людини та викликати захворювання центральної нервової системи людини.

3. Лазерне випромінювання, здатне потрапляти в очі та викликати ураження очного дна та різні хвороби очей працівників.

#### **5.4. Правила безпечної роботи з лазерними випромінювачами та апаратами.**

На виробках ВОІВ, що створюють небезпечне лазерне випромінювання категорії III, обов'язково наноситься знак лазерної небезпеки, наведений на рис. 5.1



Рис. 5.1. "Обережно! Лазерне випромінювання" (за ДСТУ ISO 6309:2007).

За наявності на виробі такого знака працівник зобов'язаний виключити влучення його в очі одним із способів: захисними окулярами, що не пропускають випромінювання на довжині хвилі лазерного випромінювання 0,85 ... 1,6 мкм, або шляхом відхилення кута зору на величину 8 ... 10 градусів від ортогонального, що забезпечує спостереження лише частини випромінювання, недостатньою для ураження очей. Пряме спостереження лазерного випромінювання забороняється.

#### **5.5. Правила з охорони праці під час робіт на волоконно-оптичних кабелях зв'язку.**

Найбільш небезпечними для персоналу, що працює з волоконно-оптичними кабелями є осколки кварцових оптичних волокон.

Для виключення попадання мікро уламків оптичних волокон на шкіру або дихально-харчові шляхи слід застосовувати спеціальні прогумовані

рукавички, підкладки матового чорного кольору, що забезпечують помітність уламків.

При попаданні небезпечних мікро уламків у шкіру працівника слід їх витягти з допомогою пневмо пінцету або пінцету, робочі поверхні якого мають полімерне покриття, що дозволить уникнути випадкового механічного подрібнення уламків.

## **5.6. Інструкція з охорони праці під час експлуатації проектного об'єкту**

### **5.6.1 Основні положення.**

1. Ця інструкція розроблена у відповідності з вимогами нормативних актів з охорони праці та обов'язкова до виконання усіма працівниками.

2. До роботи з проектованим об'єктом допускаються особи інженернотехнічної сполуки, що вивчили проектований пристрій, інструкцію з технічної експлуатації, дану інструкцію і ті, які склали залік по техніці безпеки і пожежної безпеки.

#### **3. Працівник зобов'язаний:**

- твердо знати і строго дотримуватись правил внутрішнього розпорядку, правил з охорони праці, не допускати на робочому місці паління і вжитку спиртних напоїв;

- на роботу з'являтися в призначений час, приймати участь у зміннозустрічних зборах. Хворі та особи у нетверезому стані до роботи не допускаються і повинні бути відправлені у медичний заклад для перевірки стану здоров'я;

- знати, що основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами при роботі з електродвигуном є поразка електричним струмом, рухомі незагороджені елементи літака, виступаючі елементи АіРЕО (антени, датчики, ПВД та ін.), недостатній рівень освітлення у технічному відсіку.

### **5.6.2. Вимоги до безпеки перед початком роботи.**

Працівник зобов'язаний:

- надягти й упорядкувати робочий одяг, надягти головний убір і підібрати під нього волосся;
- перевірити оглядом технічний стан робочого місця, забрати з робочого місця усе, що може перешкодити роботі;
- перевірити справність устаткування, пристосувань, інструмента, вентиляції, місцевого освітлення. Не працювати на устаткуванні з простроченими термінами огляду.

### **5.6.3. Вимоги до безпеки під час роботи.**

Для забезпечення безпечної організації праці працівник зобов'язаний:

- забезпечити відсутність людей в зоні переміщення підвісних елементів літака (закрилки, рульові поверхні) на протязі всього періоду робіт по обслуговуванню протиобліднювальної системи;
- не знаходитися поблизу автоматично діючих механізмів, не заходити за огорожу, не знімати та не встановлювати огорожу під час їх роботи;
- переміщатися та оглядати АіРЕО з землі необхідно згідно з розробленими та затвердженими безпечними маршрутами обходу літака, які виключають можливість зіткнення інженерно-технічного складу з виступаючими або рухомими частинами літака;
- не допускається при експлуатації електродвигуна встановлювати запобіжники, які не відповідають номіналу, а також закорочувати їх дротом;
- при виконанні робіт суворо керуватися технологічними вказівками по тій або іншій перевірці;



- забороняється підключати або відключати роз'єми, які знаходяться під струмом; - періодично необхідно перевіряти надійність з'єднання штепсельних роз'ємів;

- при знаходженні пошкодження ізоляції з'єднувальних кабелів знеструмити електродвигун і відправити його в ремонт;

- огляд, наладку, чистку, змазку, догляд та ремонт електродвигуна виконувати після його повної зупинки та відключенні;

- не притулятися до струмопровідних частин;

- забезпечити достатній рівень природного або штучного освітлення при виконанні робіт в технічному відсіку. Штучне освітлення повинно відповідати вимогам стандарту ГОСТ 5472003-82, а саме: освітлювальні прилади для загального та місцевого освітлення повинні забезпечувати нормовані кількісні та якісні характеристики для освітлювальних пристроїв. Їх вибір слід проводити у відповідності з вимогами Сніп-4-79. Світильники місцевого освітлення повинні оснащуватись світлорегуляторами. Повинні дотримуватись норми освітленості: при загальному освітленні – 300 лк, при комбінованому – 700 лк;

- до робіт на літаку слід приступати при умові виконання вимог галузевого стандарту ГОСТ 5471004-82 і після приєднання корпусу літака до стаціонарного заземлюючого пристрою на стоянці літаків;

- підключення наземних джерел електричної енергії до бортової електричної мережі літака, а також їх відключення виконувати у відповідності з вимогами ГОСТ 5430030-84;

- забороняється використовувати у якості переносних електричних освітлювальних пристроїв – освітлювачів напругою 220 В, а також освітлювачів, не обладнаних захисним склом (сіткою);

- при наявності підвищеного рівня шумів на робочому місці необхідно застосовувати шумоподавлюючі навушники;

- використовувати захисні окуляри, сітки, каски і іншими захисними пристроями при виконанні усіх видів робіт, які супроводжуються відлітанням осколків;

- при виникненні виробничої ситуації, небезпечної для життя чи здоров'я працюючих, роботи повинні бути негайно припинені і виконавець робіт повинен повідомити безпосереднього керівника.

#### **5.6.4. Вимоги до безпеки після закінчення роботи.**

По закінченню роботи працівнику необхідно:

- у встановленому порядку вимкнути обладнання, пристрої та апаратуру, всі перемикачі встановити в початкове положення, знеструмити електродвигун. Або передати зміну при безперервному процесі;

- прибрати відходи виробництва;

- після закінчення робіт необхідно прийняти душ, використовуючи резинове взуття на неслизькій підшві для запобігання падіння;

- повідомити керівника про всі недоліки, що виявилися у процесі роботи.

#### **5.6.5. Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях.**

Знеструмити устаткування, припинити роботу, з'явитися в розпорядження старшого зміни і докласти про подію. Основними причинами виникнення пожежі при проведенні ТЕ обладнання є:

- короткі замикання елементів ланцюгів;

- встановлення запобіжників, що не відповідають номіналові;

- неправильний вибір проводів у схемі підключення;

Для попередження виникнення пожежі пропонуємо взяти заходів по кожному з перерахованих вище пунктів, а саме:

- періодично перевіряти надійність роз'ємів, особливо в місцях з'єднання проводів зі штепсельними розніманнями. Місця підключення до зовнішніх пристроїв надійні по міцності і пайці;

- не встановлювати «жучки» і запобіжники, що не відповідають номіналові;

- зробити перевірку правильності вибору сполучних проводів.

У випадку виникнення пожежі застосовувати вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-2 або водопінний аерозольний типу ВВПА-400. Рекомендується встановити в лабораторії не менше 2-х вогнегасників.

### **Висновки до розділу 5**

Правильний підхід до організації охорони праці на підприємстві дають працівникам необхідне почуття надійності, стабільності й зацікавленості керівництва у своїх співробітниках. Таким чином, завдяки налагодженій охороні праці знижується вплив шкідливих факторів виробництва на здоров'я і працездатність людини в процесі трудової діяльності, а також плінність кадрів, що в свою чергу благотворно впливає на стабільність підприємства в цілому.

В даному розділі було досліджено вплив лазерного випромінювання на працівника і розроблено заходи що дозволяють зменшити негативні наслідки під час роботи.

У цьому розділі визначено:

- якими саме документами необхідно керуватися під час монтажу та експлуатації розроблюваної системи;

- які небезпечні та шкідливі виробничі фактори впливають на працівників при технічній експлуатації приладу.

Представлені технічні заходи, що виключають або обмежують вплив на технічний персонал небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які виникають

## ВИСНОВКИ

В ході дипломної роботи для порівняння були наведені різні типи витратомірів, а також різні способи вимірювання витрат речовин. Робота зроблена з ціллю довести зручність використання витратоміра на основі волоконно-оптичного датчика у вимірі витрат легкозаймистих речовин.

В першому розділі дипломної роботи були розглянуті загальні відомості про методи вимірювання витрати речовин, описані існуючі пристрої-витратоміри, проаналізовані напрямки застосування витратомірів.

В другому розділі дипломної роботи були розглянуті різновиди оптичних витратомірів, проаналізовані відомі лазерні витратоміри, оцінені переваги та недоліки витратомірів, заснованих на ефекті Доплера.

В третьому розділі дипломної роботи був розроблений витратомір, який дозволяє підвищити точність вимірювання швидкості і витрати легкозаймистих речовин.

В четвертому розділі дипломної роботи було визначено негативні фактори впливу лазерного випромінювання на навколишнє середовище та людину, а також методи захисту від їх впливу. Були наведені допустимі норми забруднень навколишнього середовища згідно з основними стандартами.

В п'ятому розділі дипломної роботи було досліджено вплив лазерного випромінювання на працівника і розроблено заходи що дозволяють зменшити негативні наслідки під час роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970.
2. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2/ Под общ. Ред. Е. А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. И доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
3. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник. 4-е изд., перераб. И доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1989. – 701с.
4. Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990.-256 с.
5. Страница 13: НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів (32418).
6. Буймистряк г. Я. Информационно - измерительная техника и технология на основе волоконно-оптических датчиков и систем, - СПб : ИВА, ГРОЦ Минатома, 2005. – 191 с.
7. Справочник по горюче-смазочным материалам в судовой технике /Гулин Е.И., Якубо Д.П., Сомов В.А., Чечот И.М. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1987. - 224 с.
8. UK Patent Application GB 2238380 A. Vortex shedding flowmeter. 29.05.1991.
9. Снайдер, А., Лав, Д. Теория оптических волноводов. - М.: Радио и связь, 1987. - 656 с.
10. Сандлер, А.К., Сандлер, О.А. Інваріантний волоконний акселерометр: Деклараційний патент України № 62437, МПК (2011) G01M 11/00. - заявл. 02.02.2011. //Опубл. 26.10.2011, бюл. № 18.
11. <https://gpsm.ua/blog/datchiki-rashoda-topлива-eurosens-ustanovka->

rashodomera/

12. <http://technoton-msk.ru/myfiles/rukovodstva/>
13. <https://rasxodomer.org/>
14. <https://jv-technoton.com/ru/dut-protiv-rashodomerov/>
15. <http://prock.com.ua/ekonom/>
16. <http://npopramen.ru/>
17. <https://rashodomery.pro/>
18. [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/instructions/166/147455/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/instructions/166/147455/)
19. <https://www.h20.ru/admin-fiber.php?attempt=2>
20. <https://ua.waykun.com/articles/glava-9-lazerne-viprominjuvannja.php>
21. [https://pidru4niki.com/1163101838972/bzhd/lazerne\\_viprominyuvannya](https://pidru4niki.com/1163101838972/bzhd/lazerne_viprominyuvannya)
22. [https://studopedia.com.ua/1\\_81671\\_klasifikatsiya-lazeriv-za-stupenyami-nebezpechnosti-lazernogo-viprominyuvannya-spetsifika-zahistu-vid-lazernogo-viprominyuvannya.html](https://studopedia.com.ua/1_81671_klasifikatsiya-lazeriv-za-stupenyami-nebezpechnosti-lazernogo-viprominyuvannya-spetsifika-zahistu-vid-lazernogo-viprominyuvannya.html)
23. [https://studme.com.ua/19291001/ekologiya/lazernoie\\_izluchenie.htm](https://studme.com.ua/19291001/ekologiya/lazernoie_izluchenie.htm)