

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

НОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з навчального модуля
“Вимірювальні інформаційні системи в енергозбереженні”
на дослідному стенді “Аква Україна”
для студентів напряму підготовки 6.051003 “**Приладобудування**”
професійного спрямування
“Інформаційні технології в приладобудуванні”

Рекомендовано Вченою Радою приладобудівного факультету

**КИЇВ
НТУУ”КПІ”
2015**

Нові інформаційні технології . Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчального модуля “**Вимірювальні інформаційні системи в енергозбереженні**” на дослідному стенді “Аква Україна” для студентів напряму підготовки 6.051003 “Приладобудування” професійного спрямування “Інформаційні технології в приладобудуванні”// Уклад.: І.В.Коробко, І.А.Гришанова, В.А.Коваленко. - К.:НТУУ”КПІ”, 2015.-98с.

*Гриф надано Вченою Радою ПБФ
(протокол № 9/15 від 26 жовтня 2015р.)*

Навчальне видання

НОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт з навчального модуля
“Вимірювальні інформаційні системи в енергозбереженні”
на дослідному стенді “Аква Україна” для студентів напряму
підготовки 6.051003 “Приладобудування” професійного спрямування
“Інформаційні технології в приладобудуванні”

Укладачі:	<i>Коробко Іван Васильович, д.т.н., професор</i> <i>Гришанова Ірина Аркадіївна, , к.т.н., доцент</i> <i>Коваленко Вікторія Анатоліївна, аспірант</i>
Відповідальний редактор:	<i>Писарець Анна Валеріївна, к.т.н., доцент</i>
Рецензент:	<i>Гожій Сергій Петрович, д.т.н., професор</i>

за редакцією укладачів

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ІНСТРУКТАЖ З ПРАВИЛ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В ЛАБОРАТОРІЇ “ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ”....	6
1.1 Інструкція з протипожежної безпеки.....	7
1.2 Надання першої допомоги потерпілому при нещасних випадках...	8
1.3 Правила поведінки при виконанні лабораторного заняття.....	9
1.4 Алгоритм виконання лабораторного заняття	10
2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ТА КІЛЬКОСТІ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ І ВОДИ.....	11
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПРОЛИВНА УСТАНОВКА “АКВА УКРАЇНА”.....	21
3.1 Тахометричний витратомір ВСТ-20.....	24
3.2 Електромагнітний витратомір Аква-ЕМПР-20 (ЕМПР).....	29
3.3. Вихоровий перетворювач ВПВ.....	34
3.4 Теплообчислювач МВТ-М № 1801	42
3.5 Баки акумулятори води.....	47
3.6 Циркуляційний насос.....	48
3.7 Манометр радіальний МП-100.....	50
3.8 Фільтр сітчастий латунний з внутрішньою різьбою та пробкою типу Y222.....	53
3.9 Кран кульовий латунний повно прохідний.....	55
3.10 Ручні повітровідвідники.....	59
3.11 Термодатчик.....	62
4 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.....	65
4.1 Лабораторна робота № 1. Оцінювання конструктивних особливостей пристроїв та приладів.....	65

4.2 Лабораторна робота №2. Гідравлічні розрахунки системи постачання теплової енергії.....	76
4.3 Лабораторна робота №3. Вимірювання витрати та кількості теплової енергії.....	84
4.4 Лабораторна робота №4. Моделювання роботи системи теплопостачання з використанням пакетів віртуального моделювання	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

ВСТУП

Цикл лабораторних робіт з навчального модуля “Вимірювальні інформаційні системи в енергозбереженні” для студентів напряму підготовки 6.051003 “Приладобудування” спеціальності: 8. 05100306 (освітньо–кваліфікаційний рівень магістр) “Інформаційні технології в приладобудуванні” є невід’ємною важливою частиною аудиторного комплексу занять, що направлений на розв’язання таких основних задач:

- набуття практичних навичок з аналізу процесів, які виникають при вимірюванні витрати та кількості паливно-енергетичних ресурсів і води (ПЕРВ);
- набуття практичних навичок з розрахунків засобів вимірювання витрати ПЕРВ;
- вивчення і набуття навичок практичного застосування систем автоматизованого проектування вимірювальних перетворювачів витрати ПЕРВ на базі сучасних інформаційних вимірювальних систем та комплексів.

Отримані знання та досвід є підґрунтям для подальшого виконання курсової роботи, курсових та дипломних проектів, магістерських дисертацій.

Вцілому, вивчення і освоєння лабораторного практикуму дозволить студентам глибше опанувати і закріпити теоретичні положення дисципліни, отримати навички практичного застосування сучасних інформаційно-вимірювальних систем та комплексів у галузі вимірювання та контролю рідиннофазних потоків з високими метрологічними показниками.

1 ІНСТРУКЦІЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ “ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ”

При підготовці та виконанні лабораторних робіт необхідно дотримуватися таких правил:

- бути уважними і дисциплінованими, точно виконувати вказівки викладача;
- не починати виконувати роботу без дозволу викладача;
- розміщувати прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню;
- перед виконанням роботи уважно вивчити її зміст та хід виконання;
- під час проведення дослідів не допускати граничних навантажень вимірювальних приладів та пристроїв;
- стежити за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях;
- для складання експериментальних установок користуватись проводами з міцною ізоляцією та без видимих пошкоджень;
- складаючи електричне коло, уникати перетину проводів, забороняється користуватися провідниками з відпрацьованою ізоляцією і вимикачами відкритого типу;
- джерела струму в електричне коло вмикати в останню чергу. Складне коло вмикати тільки після перевірки і дозволу викладача. Наявність напруги в колі перевіряти тільки приладами або показниками напруги;
- не доторкатись до елементів кола, що не мають ізоляції і перебувають під напругою. Не виконувати повторно з'єднань у колах і не замінювати запобіжники до вимикання джерела електроживлення;

- не доторкатись до корпусів стаціонарного електрообладнання затискачів відімкнутих конденсаторів;
- користуватись інструментом з ізолюючими ручками;
- після закінчення роботи від'єднати джерело електроживлення, потім розберіть електричне коло;
- не залишати робочого місця без дозволу викладача;
- виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно повідомити викладача/лаборанта.

1.1 Інструкція з протипожежної безпеки

1. При виникненні пожежі в університеті подається сигнал “пожежної тривоги” - переривчасті дзвінки протягом 30 секунд.

2. З подачею сигналу “пожежна тривога” навчальні заняття в університеті припиняються. Учні, викладачі і працівники навчального закладу з приміщень евакуюються, а особовий склад ланки пожежогасіння негайно приступає до ліквідації вогнища пожежі, наявними первинними засобами гасіння (вогнегасники, пісок, внутрішні пожежні крани й інше), до прибуття пожежної команди .

3. Повідомлення про пожежу по телефону “**101**” повідомляється спокійно і чітко. При повідомленні необхідно: вказати місце пожежі, що горить і назвати своє прізвище. Докладне повідомлення про пожежу забезпечує швидке прибуття пожежної команди до місця пожежі і дозволяє їй заздалегідь визначити план своїх дій, що є істотним у справі успішного гасіння.

1.2 Надання першої допомоги потерпілому при нещасних випадках

1. У випадку дотику людини до струмоведучих частин і попадання його під напругу, необхідно звільнити його від дії електричного струму шляхом відключення електроустановки від джерела живлення, а при неможливості відключення - відтягнути його за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал.

2. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно викликати лікаря і зробити йому першу медичну допомогу (телефон швидкої допомоги **“103”**).

3. Якщо потерпілий не знепритомнів, продовжує дихати й у нього нормально працює серце, варто укласти його, розстебнути одяг, забезпечити повний спокій до прибуття лікаря.

4. При відсутності у постраждалого дихання й пульсу необхідно зробити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця. Під час медичної допомоги необхідно стежити за зіницями очей. Широкі зіниці вказують на різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані необхідне негайно надавати допомогу.

5. Якщо в потерпілого відсутні дихання і пульс, то допомогу необхідно проводити в такому порядку:

- укласти потерпілого на спину і під його голову підкласти валик зі згорнутого одягу;
- розташуватися з лівої сторони від постраждалого, свою ліву руку підвести під його потилицю і відкинути його голову назад ;
- відкрити потерпілому рот, звільнити його від слизу за допомогою марлі або носової хустки і, зробивши два-три глибоких вдихи, удмухувати через марлю або хустку повітря зі свого рота в рот потерпілого;

– звільнити рот і ніс потерпілого по закінченні вдмухування, щоб не заважати вільному видихові.

6. З появою перших слабких вдихів у потерпілого, варто робити штучний вдих у момент початку самотійного вдиху.

7. При поновленні у постраждалого самотійного дихання якийсь час варто продовжити штучне дихання до повного приведення потерпілого у свідомість або до прибуття лікаря.

8. Якщо у потерпілого відсутній пульс, необхідно проводити зовнішній масаж серця.

9. Надання допомоги не можна припиняти, навіть якщо потерпілий не подає ознак життя.

10. Необхідно вивчити прийоми надання першої допомоги при враженні електричним струмом і вміти застосовувати їх при необхідності.

11. При наданні допомоги потерпілому не дозволяється допускати охолодження його тіла.

12. Необхідно вміти надавати першу допомогу при опіках, тому що опік-це рана, у яку легко може потрапити інфекція.

13. Не слід зривати з обпаленого місця одяг і відривати прилиплу до рани білизну.

14. При опіку очей електричною дугою варто робити холодні примочки розчином борної кислоти.

1.3 Правила поведження при виконанні лабораторних занять

1. При виконанні лабораторних робіт дотримуйтесь правил техніки безпеки та безпеки життєдіяльності.

2. На заняття з'являйтесь вчасно без запізнь.

3. Слідкувати за зовнішнім виглядом, з'являтися на заняття у відповідній формі одягу.

4. Бути ввічливим, з повагою ставитись до викладачів та технічного персоналу.

5. Адекватно реагувати на зауваження викладачів.

6. Дотримуватись нормативної лексики.

7. Дбайливо ставитись до майна лабораторії.

1.4 Алгоритм виконання лабораторного заняття

1. Уважно ознайомтесь з метою роботи.

2. Вивчіть і охарактеризуйте вимірювальні прилади, якими будете користуватися: ознайомтесь із правилами експлуатації кожного приладу і технічного пристрою.

3. Зробіть необхідні рисунки та креслення, заповніть таблиці.

4. Визначте закономірність процесів, які ви спостерігали.

5. Запишіть показники приладів; врахуйте, що ні один засіб вимірювання не дає точного значення вимірюваної величини.

6. Зробіть необхідні розрахунки, користуючись законами, описуючими дані явища.

7. Визначте головне в спостереженнях та розрахунках, зробіть висновок.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ТА КІЛЬКОСТІ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ І ВОДИ

Дефіцит енергетичних ресурсів і неминуче зростання їх ціни у майбутньому, обумовлюють особливу актуальність проблеми раціонального використання та ефективного обліку ПЕРВ.

Для організації дієвої системи енергозбереження необхідно реалізувати ефективну систему вимірювання та обліку витрати ПЕРВ. Останнім часом виникає гостра необхідність у вимірюванні витрати і кількості енергоносіїв з різною динамікою їх протікання (рис.2.1).

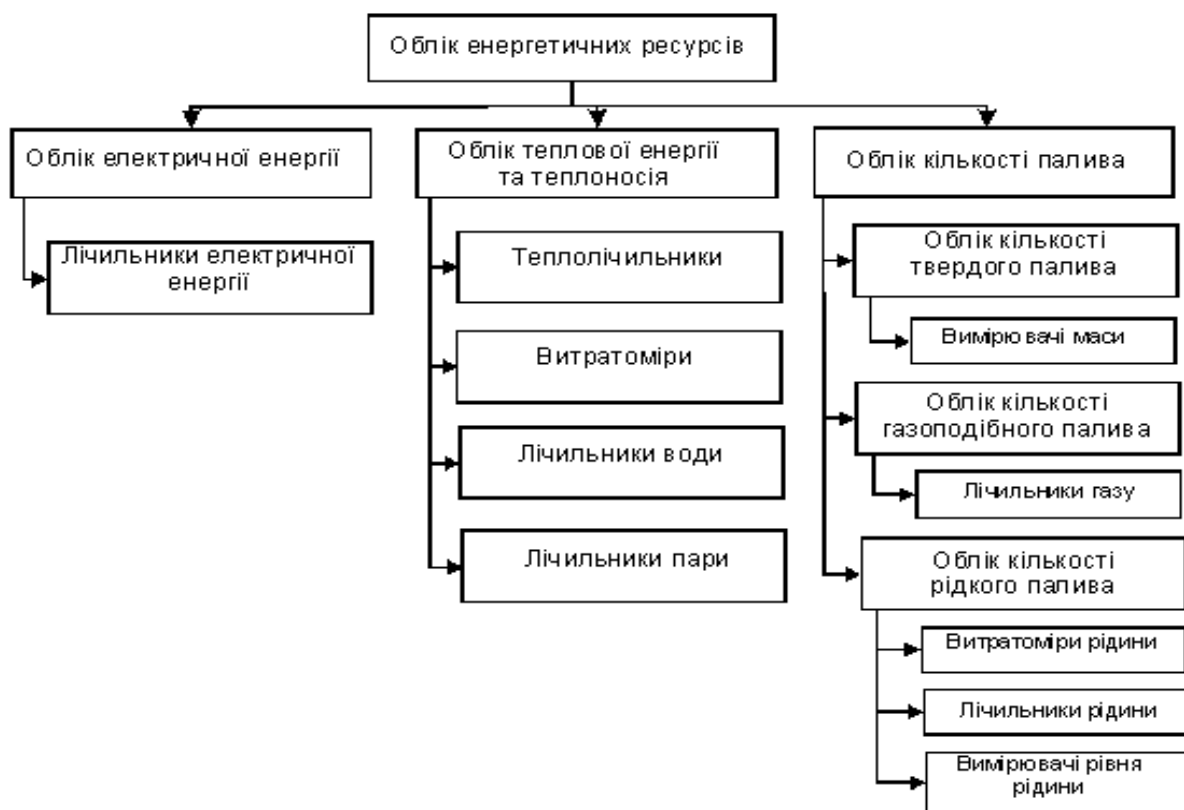


Рис. 2.1. Енергетичні ресурси та прилади для їх обліку

Для вимірювання витрати та кількості рідин використовують різні фізичні явища і процеси, що відбуваються при плинні досліджуваного середовища [1]:

а) зміна площі живого перерізу потоку, що викликає перепад тиску у трубопроводі, зміну динамічного тиску, вихрові коливання, обертання та коливання чутливого елемента (ЧЕ), який розміщено у потоці;

б) вплив на потік вимірюваного середовища різноманітних фізичних явищ:

- теплова дія на потік або тіло, яке має контакт з ним;
- магнітне поле (для електропровідної рідини);
- акустичні та оптичні ефекти у потоці рухомої рідини;
- іонізація потоку вимірюваного середовища

в) вплив на хімічний склад рідини (внесення у потік вимірюваної рідини різноманітних домішок).

Основні вимоги, що висуваються до сучасних приладів та систем вимірювання витрати і кількості ПЕРВ:

- а) висока точність та надійність вимірювань;
 - б) широкий діапазон вимірювань та лінійність шкали (вимоги до статичної характеристики);
 - в) мінімальна залежність точності вимірювань від зміни густини та в'язкості вимірюваного середовища;
 - г) незалежність результатів вимірювань від тиску і температури;
 - д) мінімальна залежність метрологічних характеристик від умов експлуатації;
 - е) високі динамічні характеристики (швидкодія);
 - ж) працездатність приладу при вимірюваннях витрат і кількості не тільки за нормальних, а і за екстремальних умов (за низьких або високих температур і тиску, при вібраціях та ін.);
- з) можливість вимірювання витрати широкої номенклатури речовин;

и) вимоги до інформативних і неінформативних параметрів вихідного сигналу (переміщення покажчика шкали, частоті електричних імпульсів, напрузі, відношенню напруги, силі струму);

к) забезпеченість метрологічною базою.

Фактори, якими обумовлена складність вимірювання витрати ПЕРВ:

а) вимірюване середовище рухається, причому його характер, що залежить від багатьох параметрів, впливає на показання приладів;

б) характеристики вимірюваного середовища та приладів знаходяться у складному і багатогранному зв'язку;

в) велике число вимірюваних середовищ відрізняється за фізико-хімічними властивостями та умовами експлуатації.

Оцінка похибок результатів вимірювання ПЕРВ

Метрологічні характеристики лічильників визначаються розрахунковими методами за характеристиками тих вимірювальних вузлів, приладів і систем, на базі яких побудовані лічильники. Складність в оцінці похибок пояснюється умовами експлуатації таких приладів, необхідністю враховування зміни складу і фізичних властивостей теплоносія (наявність домішок), тощо. Оцінку похибок результатів вимірювання енергоресурсів, можна вести за методикою, що наведена в роботі [2].

При обліку теплоти результат вимірювань, спожитих за деякий інтервал часу енергоресурсів, є накопиченою сумою n -проміжних результатів реєстрації та визначається як:

$$S = \sum (x_i \Delta t_i). \quad (2.1)$$

де x_i – миттєве значення i -го результату вимірювань миттєвої витрати (кількості енергоресурсів в одиницю часу), Δt_i – тривалість i -го інтервалу часу.

Задача ставиться таким чином: щоб оцінити похибку результату S обліку енергоресурсів за умови, що похибка засобу вимірювальної техніки (ЗВ) нормована у вигляді меж відносної δ_D або приведеної γ_D похибки.

Для спрощення розрахунків припустимо, що $\Delta t_i = \Delta t = \text{const}$. Тоді

$$S = \Delta t \sum x_i. \quad (2.2)$$

Оцінку похибки результату S обліку енергоресурсів проведемо в припущенні, що кожен результат вимірювань x_i містить деяку похибку, дійсне значення ε якої може бути представлене сумою систематичної $\varepsilon_{\text{сист}}$ та випадкової $\varepsilon_{\text{вип}}$ складових.

Припустимо також, що випадкова складова похибки $\varepsilon_{\text{вип}}$ має рівномірну функцію густини (гірший випадок) і математичне очікування, рівне нулю. З останнього припущення при n , прагнучому до нескінченності, витікає, що випадкова складова похибки ЗВ не вплине на результат S обліку енергоресурсів.

Далі припустимо, що результати вимірювань x_i рівномірно розподілені від початкового x_H до кінцевого x_K значень, в діапазоні вимірювань ЗВ.

Переходячи від суми до інтегралу і враховуючи систематичну складову похибки ЗВ, одержимо:

$$S = \Delta t n \frac{1}{x_K - x_H} \int_{x_H}^{x_K} (x + \varepsilon_{\text{сист}}) dx, \quad (2.3)$$

або

$$S = \Delta t \cdot n \cdot S_1, \quad (2.4)$$

де

$$S_1 = \frac{1}{x_K - x_H} \int_{x_H}^{x_K} (x + \varepsilon_{\text{сист}}) dx, \quad (2.5)$$

Враховуючи, що систематична складова похибки по діапазону вимірювань ЗВ може бути представлена сумою трьох складових: адитивної ε_a , мультиплікативної η_m і нелінійної $\varepsilon_n(x)$, тобто

$$\varepsilon_{сист} = \varepsilon_a + \eta_m x + \varepsilon_n(x), \quad (2.6)$$

то

$$S_1 = \frac{1}{x_K - x_H} \int_{x_H}^{x_K} [x + \varepsilon_a + \eta_m x + \varepsilon_n(x)] dx. \quad (2.7)$$

У результаті інтегрування отримаємо:

$$S_1 = \frac{x_K - x_H}{2} + \varepsilon_a + \eta_m \frac{x_K - x_H}{2} + \frac{1}{x_K - x_H} \int_{x_H}^{x_K} \varepsilon_n(x) dx. \quad (2.8)$$

Перший доданок виразу представляє номінальне значення результату вимірювань:

$$S_{1H} = (x_k - x_H)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.9)$$

Дійсне значення абсолютної похибки:

$$\varepsilon_S = \varepsilon_a + \eta_m \frac{x_K - x_H}{2} + \frac{1}{x_K - x_H} \int_{x_H}^{x_K} \varepsilon_n(x) dx. \quad (2.10)$$

Враховуючи, що адитивна і мультиплікативна складові похибки визначають параметри прямої, що апроксимує залежність похибки за діапазоном перетворень ЗВТ, то

$$\frac{1}{x_K - x_H} \int_{x_H}^{x_K} \varepsilon_n(x) dx = 0. \quad (2.11)$$

Отже, дійсне значення абсолютної похибки результату вимірювань визначається за виразом:

$$\varepsilon_S = \varepsilon_a + \eta_m (x_k - x_H)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.12)$$

що у відносних одиницях складає:

$$\eta_s = \frac{\varepsilon_s}{S_{1H}}. \quad (2.13)$$

Після підстановки ε_s та S_{1H} в останній вираз одержимо:

$$\eta_s = \frac{2\varepsilon_a + \eta_m(x_k + x_H)}{x_k + x_H} = \frac{2\varepsilon_a}{x_k + x_H} + \eta_m. \quad (2.14)$$

Таким чином, відносна похибка результату вимірювань S_1 , а, отже, і результату S обліку енергоресурсів, визначається виразом:

$$\eta_s = \frac{2}{x_K + x_H} \varepsilon_a + \eta_m. \quad (2.15)$$

Подальші міркування проведемо для двох випадків: нормування похибки ЗВ у вигляді меж приведеної, що допускається γ_d і відносної δ_d похибки.

1. При нормуванні похибки ЗВ у вигляді меж γ_d приведеної похибки, що припускається, модуль дійсного значення абсолютної похибки ЗВ обмежений межею $\Delta_d = \gamma_d(x_k - x_n)$ абсолютної похибки, що припускається:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{сист}} + \varepsilon_{\text{вин}} \leq \Delta_d. \quad (2.16)$$

Припустимо, що

$$\varepsilon_{\text{сист}} = k\Delta_d, \quad (2.17)$$

де k — коефіцієнт, що визначає вагу систематичної складової в похибки ЗВТ, значення його лежать в діапазоні від нуля до одиниці.

Тоді в межі

$$\varepsilon_{\text{вин}} = (1 - k)\Delta_d. \quad (2.18)$$

Далі припустимо, що

$$\begin{aligned} \varepsilon_a &= k_a \varepsilon_{\text{сист}}, \\ \eta_M x &= k_M \varepsilon_{\text{сист}}, \\ \varepsilon_H(x) &= (1 - k_a - k_M) \varepsilon_{\text{сист}}, \end{aligned} \quad (2.19)$$

де k_a и k_m — відповідно коефіцієнти, що визначають вагу адитивної і мультиплікативної складових систематичної похибки ЗВ.

У результаті

$$\eta_s = \frac{2}{x_K + x_H} \varepsilon_a + \eta_M \leq \frac{2}{x_K + x_H} (k_a + k_m) \varepsilon_{\text{сист}}, \quad (2.20)$$

після підстановок і перетворень остаточний вираз має вигляд:

$$\delta_s = 2 \frac{x_K - x_H}{x_K + x_H} (k_a + k_m) k \gamma_D. \quad (2.21)$$

2. При нормуванні похибки ЗВ у вигляді меж δ_D відносної похибки, що припускається, модуль дійсного значення абсолютної похибки ЗВ обмежений межею Δ_D абсолютної похибки, що допускається.

Аналогічно, можна показати, що межа відносної похибки результату обліку енергоресурсів, що допускається, має вигляд:

$$\delta_s = (k_a + k_m) k \delta_D. \quad (2.22)$$

Отримані вирази дозволяють оцінити відносну похибку результату S обліку енергоресурсів при заданих допустимих межах відносної δ_D або приведеної γ_D похибок ЗВ миттєвої витрати енергоресурсів.

Згідно проведеного аналізу оцінки похибок результатів вимірювання енергоресурсів визначимо метрологічні характеристики і межі допустимої похибки за відношенням до витрати тепла.

Метрологічні характеристики (межі допустимої похибки)

Перетворювачі витрати теплотічильників і самі теплотічильники мають такі класи точності: клас 1, клас 2, клас 3.

Межу допустимої похибки теплотічильників, додатну чи від'ємну, відносно прийнятого дійсного значення кількості теплоти наводять як відносну похибку, що змінюється залежно від різниці температур і витрати.

Межу допустимої похибки складової частини, додатну чи від'ємну, розраховують за різницею температур для обчислювача та пари перетворювачів температури і за витратою для перетворювача витрати.

Відносну похибку E , у відсотках, розраховують за формулою:

$$E = \frac{V_d - V_C}{V_C} 100\%, \quad (2.23)$$

де V_d – вимірне значення; V_C – прийняте дійсне значення.

Межі допустимої відносної похибки теплотічильників – це арифметична сума меж допустимих відносних похибок складових частин меж допустимої відносної похибки складових частин.

Похибку обчислювача можна оцінити за виразом:

$$E_C = \pm(0,5 + \frac{\Delta\theta_{\min}}{\Delta\theta}),$$

де похибка E_C встановлює зв'язок між вимірним і прийнятим дійсним значеннями кількості теплоти.

Похибку пари вимірювальних перетворювачів температури можна визначити за формулою:

$$E_t = \pm(0,5 + \frac{3\Delta\theta_{\min}}{\Delta\theta}),$$

де похибка E_t встановлює зв'язок між вимірним і прийнятим дійсним значеннями співвідношення між вихідним сигналом пари перетворювачів температури з різницею температур.

Співвідношення між температурою й опором кожного вимірювального перетворювача температури з пари не має відрізнятися від значень, наведених у EN 60751 (за стандартних значень сталих А, В і С) більш ніж на 2К [3].

Перетворювач витрати:

- Клас 1: $E_f = \pm(0,5 + \frac{3\Delta\theta_{\min}}{\Delta\theta})$;
- Клас 2: $E_f = \pm(2 + \frac{0,02q_p}{q})$, але не більш ніж $\pm 5\%$;
- Клас 3: $E_f = \pm(2 + \frac{0,02q_p}{q})$ але не більш ніж $\pm 5\%$.

Значення E_C та E_t для класу 1 визначатимуть тоді, коли удосконалення методик випробування і перетворювачів витрати дадуть змогу це зробити.

Межі допустимої відносної похибки можуть бути такими:

- для загальних теплолічильників: $E_f = \pm(3 + \frac{0,05q_p}{q})$;
- для вимірювальних перетворювачів витрати:

$$E = \pm(2 + \frac{4\Delta\theta_{\min}}{\Delta\theta} + \frac{0,01q_p}{q}), \text{ але не більш ніж } \pm 5\%.$$

Передбачено, що ці межі допустимої похибки можна застосовувати до теплолічильників з вимірюваними перетворювачами витрати з $q_p \geq 100 \text{ м}^3 / \text{год}$.

Для комбінації складових частин (перетворювач витрати, пара перетворювачів температури, обчислювач або їх комбінація), які не утворюють повного збірного теплолічильника, межі допустимої похибки дорівнюють арифметичній сумі границь допустимих похибок кожної складової частини. Похибка збірних теплолічильників не має перевищувати арифметичну суму меж допустимих похибок складових частин [3].

Розглянувши методику оцінки похибки результату вимірювання енергоресурсів та метрологічні характеристики й межі допустимої похибки ми маємо можливість за допомогою формул, а саме за формулами (2.6),

(2.12) та (2.22) зробити розрахунки систематичної усталеної, абсолютної та відносної похибок і зрівняти отримані дані з ДСТУ(табл.2.1.).

Таблиця 2.1 Порівняльна характеристика за класом точності різних методів

Вимірювальний перетворювач витрати	Похибки			ДСТУ
	$\epsilon_{\text{сист}}$	ϵ_s	δ_s	
Електромагнітний	$\pm 1-2\%$	$\pm 0,8\%$	$\pm 0,8\%$	Клас 1: $E_f = \pm(0,5 + \frac{3\Delta\Theta_{\min}}{\Delta\Theta})$
Ультразвуковий	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,05\%$	Клас 2: $E_f = \pm(2 + \frac{0,02q_p}{q})$
Вихоровий	$\pm 1,5\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5,5\%$	але не більше ніж $\pm 5\%$;
Тепловий	$\pm 1\%$ від повної шкали, включаючи нелінійність і відтворність	$\pm 0,8\%$ від показів	$\pm 0,2\%$ від повної шкали	Клас 3: $E_f = \pm(2 + \frac{0,02q_p}{q})$, але не більше, ніж $\pm 5\%$

З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПРОЛИВНА УСТАНОВКА “АКВА-УКРАЇНА”

Експериментальна проливна установка “Аква-Україна” (рис.3.1) представляє собою міні систему комерційного обліку енергетичних ресурсів і призначена для виконання лабораторних робіт.



Рис. 3.1. Лабораторний стенд “Аква Україна”

Експериментальна установка “Аква Україна” включає в себе такі елементи (рис. 3.2.):

- циркуляційний насос UPS 25-50;
- теплолічильник МВТ-М;
- тахометричний витратомір ВСТ-20;

- електромагнітний витратомір Аква-ЕМПР;
- вихровий перетворювач витрати ВПР-ТИ2-25
- термоперетворювачі типу термопари;
- манометри радіальні;
- термометри спиртові;
- фільтр сітчастий;
- кран кульовий.

Стенд підключається до мережі напруги для живлення електронних компонентів стенду. Теплолічильник має можливість передавати вимірювані значення до персонального комп'ютера за допомогою інтерфейсу RS-232C.

Гідравлічна схема лабораторного стенду “Аква Україна” наведена на рис. 3.2. Умовні позначення гідравлічної схеми наведені в табл. 3.1.

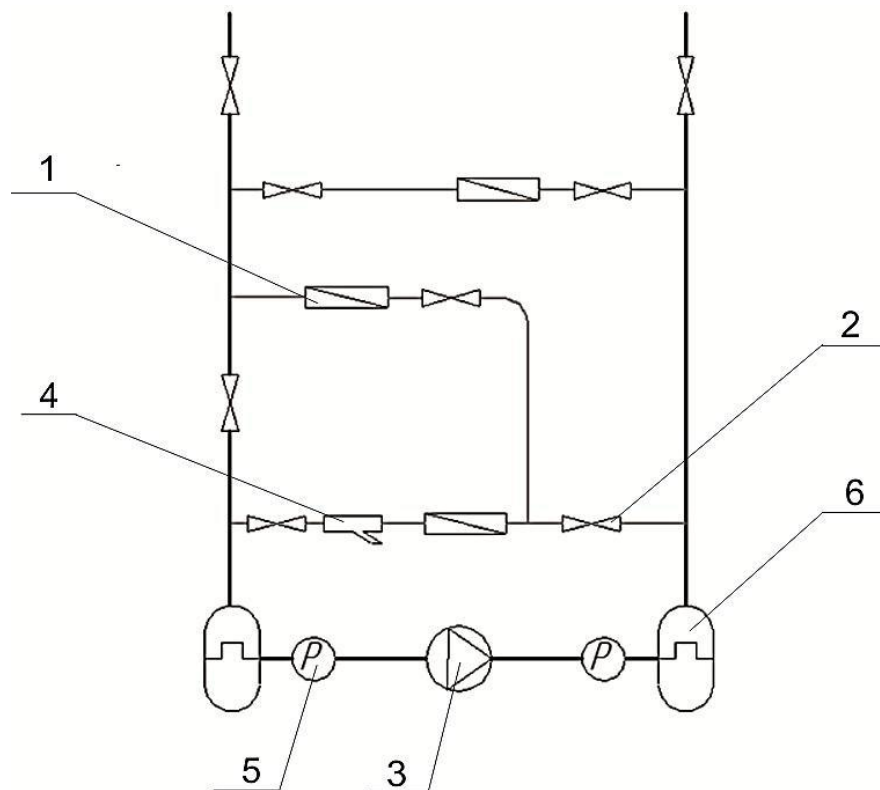
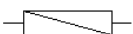
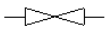
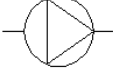
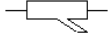
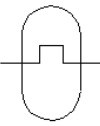


Рис.3.2. Гідравлічна схема лабораторного стенду “Аква Україна”

Таблиця 3.1. Перелік умовних позначень гідравлічної схеми

Позначення	Найменування
	1- Витратомір
	2 - Кран
	3 - Насос
	4 - Фільтр
	5 - Манометр
	6 - Розширювальний бочок закритого типу

Загальні відомості складовими елементами стенду

Система складається з перетворювачів витрати та блоку обробки - теплообчислювача МВТ-М. На його вхід подається сигнал з первинних перетворювачів. Циркуляція теплоносія у стенді забезпечується насосом (Grundfos UPS 25-50). На кожному з розгалужень стенду знаходяться витратоміри різного принципу дії. За допомогою кульових кранів, можна змінювати конфігурацію трубопроводу, по якому буде відбуватись рух теплоносія, таким чином можна здійснювати вимірювання, як усіма витратомірами, так і деякими з них. Інформація з витратомірів відображається на теплообчислювачі. На вхід подається сигнал з термоперетворювачів, за яким вираховується спожита теплоенергія. Манометри, розміщені перед та за насосом і дозволяють контролювати перепад тиску вимірюваного середовища, відповідно на вході та виході схеми.

3.1 Тахометричний витратомір ВСТ-20

Водолічильники тахометричні імпульсні (рис. 3.3) крильчаті з номінальними діаметрами (D_n): 15, 20, 25, 32 і 40мм, і турбінні з D_n : 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200 і 250мм (далі водолічильники), виготовлені за ТУ4213-200-03215076-98, призначені для вимірювання об'єму мережної води по ДБН 2.04.07-86 і питної води за ГОСТ 2874-82, що протікає в “зворотних” або “подаючих” трубопроводах закритих і відкритих систем тепlopостачання, системах холодного та гарячого водопостачання при тиску до 1,6МПа (16кгс/см²) і діапазоні температур від +5 до +50°C (холодна вода) і від + 5 до + 90°C (для D_n -15, 20мм - гаряча вода) або від +5 до +150°C (для D_n -25-250мм - гаряча вода).



Рис. 3.3. Тахометричний витратомір ВСТ-20

Водолічильники типу ВСТ-15, ВСТ-20 працюють в діапазоні температур від + 5°C до + 95°C, а ВСТ-25, ВСТ-32 і ВСТ-40 від +5°C до +150 ° С (гаряча вода) , мають рахункову головку з магнітокерованим контактом і роликовим та стрілочними показчиками, що показують виміряний об'єм в м³ та видають імпульси (при приєднанні обчислювача, реєстратора або інших сумісних пристроїв). Ціна одного імпульсу для

ВСТ-15, 20 складає $0,001\text{м}^3$, для ВСТ-25, 32 - $0,01\text{м}^3$, для ВСТ-40 - $0,1\text{ м}^3$. В табл.3.2 наведені основні технічні характеристики водолічильників типу ВСТ.

Таблиця 3.2. Технічні характеристики водолічильників типу ВСТ

Найменування основних технічних характеристик	D_n 15 мм	D_n 20 мм	D_n 25 мм	D_n 3 2 мм	D_n 40 мм
Витрата води, $\text{м}^3/\text{год}$, min/nom/max	0,03/1,5/3	0,05/2,5/5	0,14/3,5/7	0,24/6/12	0,3/10/20
Приєднання до трубопроводу, різьбове	3/4" (20 мм)	1" (25 мм)	1 1/4" (32 мм)	1 1/2" (40 мм)	2" (50 мм)
Габаритні розміри, мм					
— довжина	110	130	260	260	300
— висота	80	80	123	125	125
— ширина	70	70	93	93	93
Маса, кг	0,5	0,6	2,2	4,2	4,7

Технічні характеристики магнітокерованого контакту

- максимальна комутуюча напруга, 50В;
- максимальний комутуючий струм через контакт, 100мА;
- частота замикання контакту, не більше 1Гц.

Межі відносної похибки водолічильників не повинні перевищувати:

- + 5% в діапазоні витрати від $Q_{\min}$ до Q_t ;
- + 2% в діапазоні витрати від Q_t до $Q_{\max}$ включно.

Середній термін служби — не менше 12 років.

Розміщення, монтаж і робота водолічильників

Водолічильники встановлюються в опалювальних приміщеннях або спеціальних павільйонах з температурою навколишнього середовища від +5 до +50°C і відносною вологістю не більше 80%.

Витратоміри ВСТ розміщуються на “подаючих” і/або “зворотних” трубопроводах закритих і/або відкритих систем тепlopостачання і/або гарячого водопостачання, причому водолічильники ВСТ застосовуються в комплекті теплोलічильника СТ або з іншими приладами.

До водолічильника повинен бути забезпечений вільний доступ для зняття показань в будь-який час року. Місце встановлення повинно гарантувати його експлуатацію без можливих механічних пошкоджень. Установка водолічильників в опалювальних та холодних приміщеннях при температурі менше 5°C, в приміщеннях з вологістю більше 80% не допускається.

При монтажі лічильника повинні дотримуватись такі обов'язкові умови:

- водолічильник монтується тільки на горизонтальній ділянці трубопроводу циферблатом вгору, при цьому лічильник D_n -15, 20мм працює в діапазоні витрат класу В, при монтажі водолічильників з D_n -15, 20мм на вертикальній ділянці або циферблатом паралельно стіні, працює в діапазоні витрат відповідних класів;

- установка здійснюється таким чином, щоб водолічильник завжди був заповнений водою;

- при установці водолічильника після відводів, запірної арматури, перехідників, фільтрів та інших пристроїв безпосередньо перед ним необхідно передбачити пряму ділянку трубопроводу завдовжки не менше 5 D_n , а за лічильником - не менше 1 D_n , де D_n – умовний діаметр

трубопроводу. При порушенні умов монтажу, в лічильнику виникає додаткова похибка;

– на випадок ремонту або заміни водолічильника до і після приладу на прямій ділянці трубопроводу встановлюється запірна арматура (вентилі, засувки, клапани), а також пристрої для спуску води з відімкненої ділянки.

Перед водолічильником для D_n -15-40 мм, після запірної арматури за зоною прямолінійної ділянки трубопроводу, а також після лічильника при установці його на зворотному трубопроводі теплопостачання, до запірної арматури рекомендується встановлювати фільтри.

Не допускається встановлення водолічильника на відстані менше 2-х метрів від пристроїв, що створюють навколо себе потужне магнітне поле (наприклад, силових трансформаторів).

Переваги лічильника води типу ВСТ(рис. 3.4):

- а) простота конструкції;
- б) не потрібно спеціального устаткування для проведення ремонту;
- в) висока надійність за рахунок застосування високотехнологічних матеріалів;
- г) не схильність до впливу зовнішнього магнітного поля;
- д) не потрібні прямі ділянки, якщо прилади монтуються за допомогою приєднувачів, що дозволяє монтувати прилади в обмежених умовах;
- е) прилади D_n -15 і D_n -20мм можна монтувати в будь-якому просторовому положенні;
- ж) прилади пройшли прискорені випробування на зносостійкість за ГОСТ Р 50193.3-93 (100000 циклів зупинка/пуск на номінальній витраті, тривалість циклу 15с і 100 год на максимальній витраті при безперервному потоці);

з) лічильники гарячої води $D_n-25 - D_n-40$ пройшли гарячоводне випробування в усьому діапазоні робочих температур (до 150°C).

Міжповірочний інтервал — 6 років.

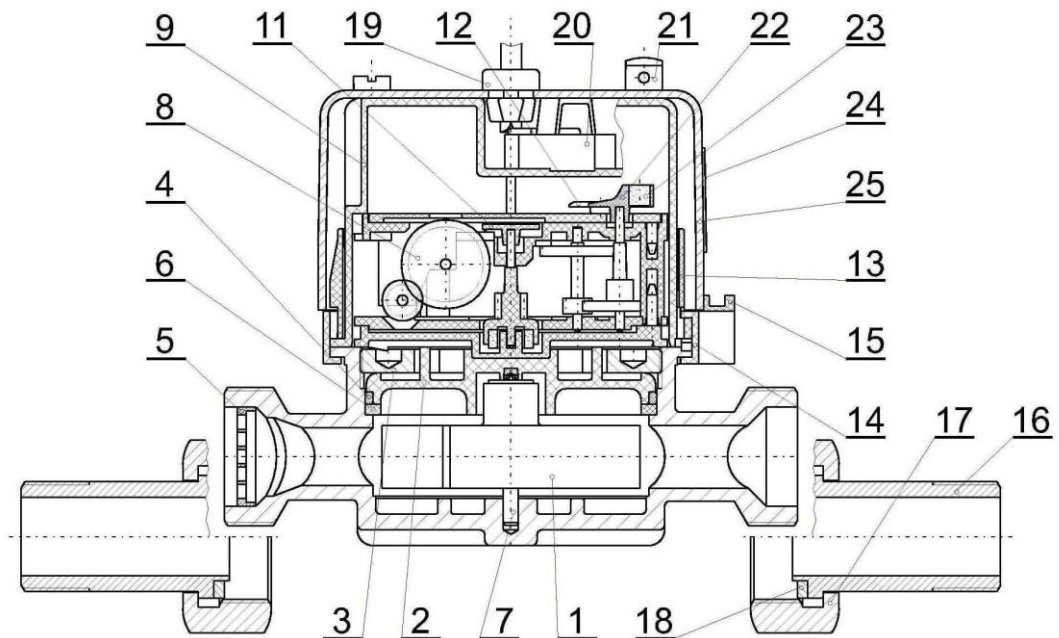


Рис. 3.4. Конструкція лічильника води типу ВСТ

1 - крильчатка; 2 - ущільнюча панель; 3 - притискна панель;
 4 - ущільнююче кільце; 5 - фільтр; 6 - ковзаюче кільце;
 7 - основна вісь; 8 - рахунковий механізм; 9 - кожух рахункового механізму; 11 - зірочка; 12 - індикатор; 13 - захисне кільце;
 14 - притискне кільце; 15 - хомут; 16 - ніпель; 17 - гайка накидна;
 18 - прокладка; 19 - дросель; 20 - вузол датчика (магнітокерований контакт); 21 - спеціальний гвинт; 22 - футляр магніту;
 23 - магніт; 25 - магнітний екран.

3.2 Електромагнітний витратомір Аква-ЕМПР-20

Призначення і область застосування ЕМПР (рис.3.5.) призначені для перетворення об'ємної витрати рідких середовищ з питомою електропровідністю не менше 10 См/м у вихідні електричні сигнали: імпульсний, частотний або струмовий.



Рис. 3.5. Електромагнітний витратомір ЕМПР-20

Область застосування - вимірювання витрати та облік споживання кількості рідини в наповнених трубопроводах систем водо- і теплопостачання, з вмістом повітря або зважених часток не більше 1%.

Витратоміри ЕМПР можуть використовуватися в якості первинного приладу у комплекті з тепло обчислювачем у складі теплोलічильника, а

також в автоматизованих системах збору даних і регулювання технологічних процесів.

Перетворювачі мають імпульсний вихід з нормованою для групи типорозмірів ціною імпульсу, кількість імпульсів на імпульсному виході пропорційно обсягу рідини, що пройшла крізь перетворювач. На замовлення користувача, ЕМПР додатково можуть мати частотний або струмовий виходи, а також вбудований рідкокристалічний індикатор для відображення вимірюваних значень параметрів.

Експлуатаційні характеристики

- а) питома електропровідність - не менше 10См/м;
- б) не агресивність вимірюваного середовища до матеріалів Фторопласту Ф4 і неіржавіючої сталі 12Х18Н10Т;
- в) температура вимірюваного середовища від 0 до 150°С;
- г) робочий тиск вимірюваного середовища, не більше 1,6МПа.

Робочі умови експлуатації

- а) температура навколишнього повітря від + 5 до + 50°С;
- б) відносна вологість повітря при 35°С, не більше 95%;
- в) атмосферний тиск у діапазоні від 84 до 106,7кПа;
- г) змінне магнітне поле частотою 50Гц, не більше 400А/м;
- д) амплітуда вібрації з частотою до 25Гц, не більше 0,1мм;
- е) ступінь захисту корпусу IP65.

Електричні параметри

- а) напруга живлення постійного струму 12В;
- б) струм споживання, не більше 0,5А.

Показники надійності

- а) середнє напрацювання на відмову, не менше 75 000 год;
- б) середній термін служби, не менше 12 років.

Метрологічні характеристики. Межі відносної похибки при вимірюванні і перетворенні витрати та об'єму у вихідні сигнали за будь-якого напрямку потоку вимірюваного середовища в робочих умовах експлуатації відповідають значенням:

- $\pm 1\%$ у діапазоні ($Q_{t1} - Q_{\max}$);
- $\pm 2\%$ у діапазоні ($Q_{t2} - Q_{t1}$);
- $\pm 5\%$ у діапазоні ($Q_{t3} - Q_{t2}$);
- $\pm 10\%$ у діапазоні ($Q_{\min} - Q_{t3}$).

Максимальні ($Q_{\max}$), перехідні ($Q_{t1,2,3}$) і мінімальні ($Q_{\min}$) значення витрати перетворювачів, в залежності від їх виконання, відповідають даним, зазначеним у табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Технічні характеристики електромагнітних витратомірів ЕМПР-20

Ду, мм	Клас	Значення витрати, м ³ /год					
		Q_0	$Q_{\min}$	Q_{t3}	Q_{t2}	Q_{t1}	$Q_{\max}$
20	A	0,02	0,03	0,045	0,08	0,12	12
	B		0,045	0,08	0,12	0,24	
32	A	0,05	0,08	0,12	0,2	0,3	30
	B		0,12	0,2	0,3	0,6	
50	A	0,12	0,2	0,3	0,48	0,72	72
	B		0,3	0,48	0,72	1,44	
80	A	0,3	0,48	0,72	1,2	1,8	180
	B		0,72	1,2	1,9	3,8	
100	A	0,48	0,72	1,2	1,9	2,9	288
	B		1,2	1,9	2,9	5,8	
150	A	1,05	1,9	2,9	4,2	6,3	630
	B		2,9	4,2	6,3	12,6	

Конструкція. Перетворювач складається з вимірювального ділянки (ВД) і блоку електронного перетворювача (ЕП). Конструктивно ВД і ЕП

представляють собою єдиний прилад. ВД являє собою відрізок трубопроводу, виконаний з немагнітної сталі і має захисний кожух. Внутрішня поверхня ВД захищена від шкідливого впливу вимірюваного середовища фторопластом марки Ф4. Всередині ВД діаметрально розташовані електроди з титанового сплаву, призначені для знімання ЕРС-сигналу, пропорційного витраті (швидкості) вимірюваного середовища. Діаметрально протилежно електродам встановлені електромагніти, що створюють змінне магнітне поле у вимірюваному середовищі.

Корпус ЕП і кришка виконані з полікарбонату.

Всередині корпусу розташована плата блоку перетворення.

Принцип роботи. Робота перетворювача базується на явищі індукування ЕРС у провіднику (вимірюваній рідині), що рухається у магнітному полі.

Приплині електропровідної рідини у поперечному магнітному полі в ній, виникає електрорушійна сила. Величина ЕРС пропорційна діаметру внутрішнього перерізу трубопроводу, магнітної індукції та швидкості потоку. При постійному значенні індукції магнітного поля значення ЕРС залежить від швидкості потоку рідини, отже, від об'ємної витрати. Значення ЕРС знімається за допомогою електродів, підсилюється і подається на ЕП, де перетворюється у сигнали, пропорційні витраті і об'єму (числоімпульсні сигнали).

Числоімпульсний вихід. Числоімпульсний сигнал формується на пасивному виході, представленому висновками колектора і емітера транзистора оптопари (рис.3.6).

Параметри імпульсного виходу:

- форма сигналу - меандр, імпульс;
- максимальна напруга $U_{к макс.}$ - 30В;

- максимальний струм навантаження $I_{к макс.}$ - 2 мА;
- напруга у відкритому стані при максимальному струмі навантаження не більше 0,3В.

Вага імпульсу встановлюється при випуску та фіксується у паспорті. Значення ваги імпульсу, що встановлюються за замовчуванням наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Частота даних

Ду,мм	20	32	50	80	100	150
Вага імп., л/імп	10	10	100	100	100	1000

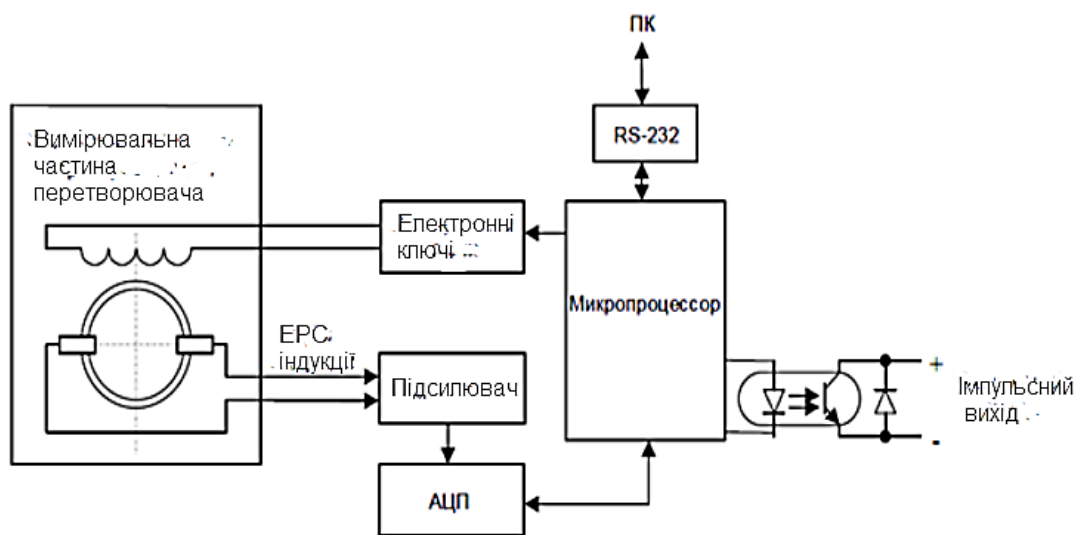


Рис. 3.6. Структурна схема ЕМПП

Інтерфейс. ЕМПП має вбудований інтерфейс - RS-232 для виведення виміряних значень.

3.3. Вихоровий перетворювач ВПВ

Принцип дії вихорових витратомірів базується на утворенні у потоці рідини вихорів, що зриваються з поверхні неплавних тіл обтікання розміщених в потоці.

Тіло, що знаходиться на шляху потоку, змінює напрямок руху струменів, що його обтікають, і збільшує їх швидкість за рахунок відповідного зменшення тиску (рис. 3.7). За міделевим перерізом тіла починається зворотний процес зменшення швидкості і збільшення тиску. Одночасно з цим на передній стороні тіла створюється підвищений, а на задній стороні – знижений тиск. Межовий шар, що обтікає тіло, після проходження його міделевого перерізу відривається від тіла і під впливом зниженого тиску за ним змінює напрямок руху, утворюючи вихор. Це відбувається як у верхніх, так і в нижніх точках тіла обтікання.

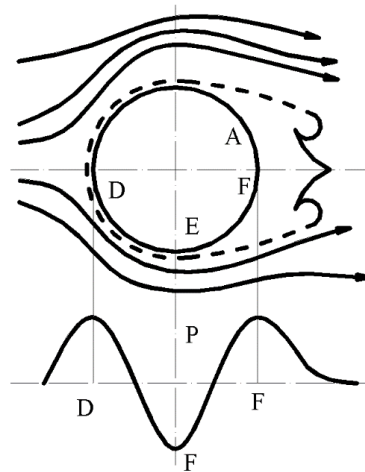


Рис. 3.7. Обтікання циліндра потоком

Але оскільки розвиток вихору з одного боку перешкоджає такому ж розвитку з іншого боку, то утворення вихорів відбувається по чергово. Вихрі, що відриваються, утворюють позаду ЧЕ подвійний ланцюг вихорів

(утворюється вихрова доріжка *Кармана*). Частота коливань вихрів строго пропорційна величині контрольованої витрати.

Швидкість вихору можна визначити за рівнянням

$$u = \frac{\Gamma}{2\sqrt{2}l_g}, \quad (3.1)$$

$$\text{де } \Gamma = \oint v dS = \oint \omega r \cdot r d\varphi = \omega r^2 \varphi_0^{2\pi} = 2\pi r^2 \omega; \quad (3.2)$$

де ω – кутова частота вихору; v – швидкість потоку у зоні вихроутворення; l_g – відстань між вихорами.

Враховуючи (3.2), вираз (3.1) набуває виду

$$u = \frac{\pi dv}{2\sqrt{2}l_g}. \quad (3.3)$$

За значенням швидкості розповсюдження вихорів u можна визначити число *Стухаля*. В системі координат, в якій тіло обтікання знаходиться в стані спокою, доріжка вихорів рухається зі швидкістю, що за абсолютною величиною дорівнює $v-u$. Коли доріжка зміститься на l_g , то вся картина руху вихорів повторюється. Період руху вихорів визначається так

$$T = \frac{l_g}{v-u}. \quad (3.4)$$

Враховуючи залежність (3.4), визначимо частоту вихроутворення

$$f = \frac{v-u}{l_g}. \quad (3.5)$$

Після перетворень вираз (3.5) набуває виду

$$f = \left(1 - \frac{u}{v}\right) \frac{d \cdot v}{l_g \cdot d}, \quad (3.6)$$

де d – характерний розмір тіла обтікання.

З іншого боку:

$$f = Sh \frac{v_2}{d}, \quad (3.7)$$

де Sh – безрозмірний критерій подібності (число *Струхаля*); v_2 – середня швидкість потоку в перерізі трубопроводу, де встановлено тіло обтікання.

З урахуванням (3.7) та (3.6) отримаємо вираз для числа *Струхаля*

$$Sh = (1 - \frac{U}{V}) \frac{d}{l}. \quad (3.8)$$

Уточнену математичну модель вихорового перетворювача витрати можна представити виразом:

$$Q = \frac{\pi \cdot d}{4 \cdot Sh} \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \left[\frac{d}{D} \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2} + \sin^{-1} \frac{d}{D} \right] \right\} D^2 f.$$

Переваги вихорових витратомірів:

Відсутність рухливих частин, простота і надійність перетворювача витрати, незалежність показань від тиску і температури, великий діапазон виміру, що доходить у деяких випадках до 15—20, лінійність шкали, точність (похибка $\pm 0,5$ — $1,5$ %), частотний вимірювальний сигнал, стабільність показань, порівняльна нескладність вимірювальної схеми, можливість одержання універсальної градуїровки.

Недоліки вихорових витратомірів:

Значна втрата тиску, що досягає 30—50 кПа, і деякі обмеження можливості їхнього застосування: вони непридатні при малих швидкостях через труднощі виміру сигналу, що має малу частоту, і виготовляються лише для труб, що мають діаметри від 25 до 150—300 мм. Застосування їх для великих труб важко, а при дуже малих діаметрах немає стійкого вихреутворення. Вони не застосовуються, також при $Re < 10^3$ – $4 \cdot 10^4$. Багато конструкцій вихрових витратомірів непридатні і для виміру забруднених і агресивних речовин, що можуть порушити роботу перетворювачів вихідного сигналу. Але на процес вихреутворення забруднення, корозія й

ерозія тіла обтікання або прилада, що закручує, практично позначаються дуже мало (у відмінність, наприклад, від звужуючих пристроїв). Тому при виборі перетворювача вихідного сигналу (наприклад, ультразвукового) вихрові витратоміри можуть служити і для виміру забруднених, агресивних і абразивних речовин.

Суть вихроакустичного принципу виміру витрати полягає у вимірі швидкості потоку шляхом визначення частоти утворення вихорів за тілом обтікання, встановленим у проточній частині перетворювача витрати. (рис.3.8) Визначення частоти вихроутворення здійснюється за допомогою ультразвуку, що має частоту 1МГц ("ультразвукове детектування вихорів").

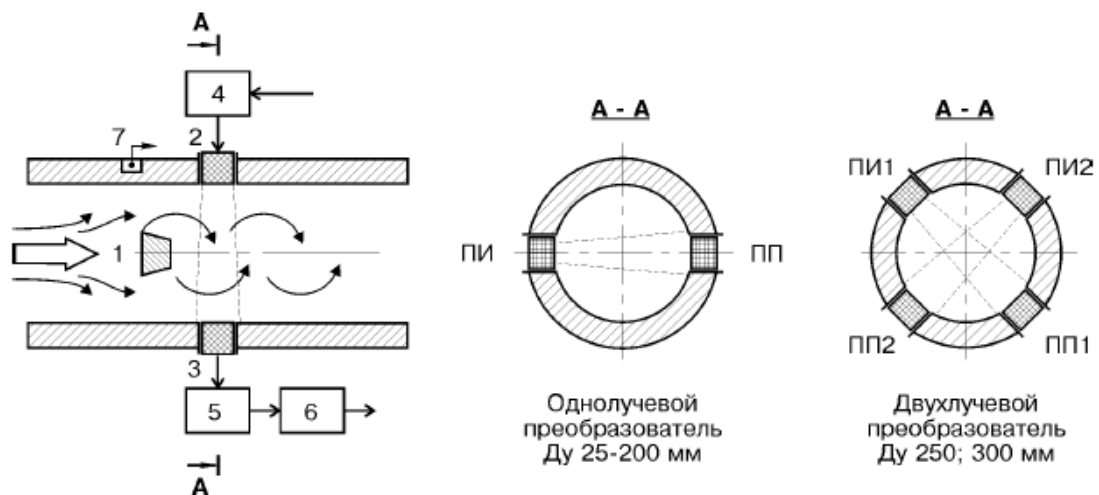


Рис.3.8. Перетворюючі пристрої

Перетворювач є моноблочною конструкцією, що складається з проточної частини і електронного блоку. У корпусі проточної частини розташовані: тіло обтікання - призма трапецеїдального перерізу (1), п'єзовипромінювачі ПІ (2), п'єзоприймачі ПП (3) і термодатчик (7).

Електронний блок включає генератор (4), фазовий детектор (5), мікропроцесорний адаптивний фільтр з блоком формування вихідних сигналів (6), змонтовані на друкованій платі.

Від генератора на ПП подається змінна напруга, яка перетворюється в ультразвукові коливання. При проходженні через потік, в результаті взаємодії з вихорами, ультразвукові коливання модулюються по фазі. На ПП модульовані ультразвукові коливання знову перетворюються в напругу, яка подається на фазовий детектор. На фазовому детекторі визначається різниця фаз між: сигналами з ПП і опорного генератора - для однопроменевих перетворювачів; сигналами з ПП першої і другої пари п'єзоелементів - для двопроменевих перетворювачів.

Напруга на виході фазового детектора по частоті і амплітуді відповідає частоті і інтенсивності дотримання вихорів, яка, через пропорційність швидкості потоку, є мірою витрати. Для фільтрації випадкових складових сигнал з фазового детектора подається на мікропроцесорний адаптивний фільтр і, потім, в блок формування вихідних сигналів. Для підвищення достовірності свідчень при обробці сигналу обчислюється дисперсія періоду коливань

Для розширення динамічного діапазону в область малих витрат, де характеристика перетворювача нелінійна і залежить від температури теплоносія, застосовується температурна корекція. Для цього в корпусі проточної частини встановлений термодатчик, сигнал від якого вводиться в програму обчислення витрати. Проточна частина перетворювача виготовлена з нержавіючої сталі і оброблена по високому класу чистоти поверхні, що мінімізує утворення відкладень і тим самим стабілізує метрологічні характеристики.

Для проведення періодичної повірки за безпроливною (імітаційною) методикою ТО виконане знімним. Електронний блок розміщений в

окремому корпусі, сполученому з проточною частиною трубчастим кронштейном. Усередині трубчастого кронштейна проходять дроти, що сполучають плату електроніки з п'єзоелементами.

Перетворювачі в базовому виконанні мають в обов'язковому порядку імпульсні вихідні сигнали. На бічній стороні корпусу електронного блоку розташовуються штепсельний роз'єм або сальникове кабельне введення, які служать для з'єднання перетворювачів з вторинними приладами (обчислювачами) і джерелами живлення. Корпус закритий кришками, ущільнення яких робиться гумовими прокладеннями, що забезпечує його герметичність.

Призначення та область застосування витратоміра ВПВ

Перетворювачі ВПВ (рис. 3.9) призначені для перетворення об'ємної витрати і об'єму рідини, що протікають через них, в електричні сигнали і призначені для роботи з іншими приладами: теплообчислювачами, регуляторами та ін. вторинними приладами.

Перетворювачі можуть бути використані в якості первинних приладів для вимірювання витрати/об'єму гарячої/холодної води.

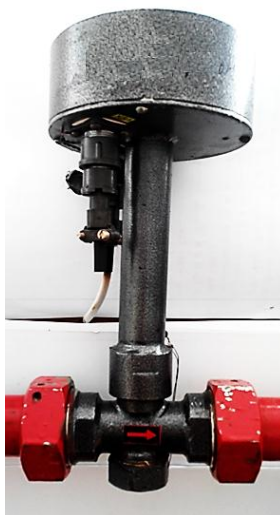


Рис. 3.9. Перетворювач витрати ВПВ

Перетворювачі ВПВ призначені для експлуатації при:

- а) температурі вимірюваного середовища в діапазоні від +5 до +150°C;
- б) тиску вимірюваного середовища до 1,6 МПа;
- в) температурі навколишнього середовища від –10 до +50°C.
- г) відносній вологості не більше 95% при температурі +35°C.
- д) вимірювані потоку рідини, не агресивною до матеріалу корпусу перетворювача – легованої сталі 12Х18Н10Т.

Живлення перетворювачів здійснюється від вбудованої літієвої батареї, напругою 3,65 В, або від зовнішнього джерела постійного струму з напругою 9 ... 15В. Термін служби вбудованої літієвої батареї – не менше 4 років з моменту виготовлення приладу.

Довжина прямих ділянок трубопроводу:

- не менше $10D_n$ до перетворювача;
- не менше $2D_n$ після перетворювача.

Розміщення на трубопроводі – довільне (за умови виключення потрапляння повітря в проточну частину ВПВ).

Міжповірочний інтервал – 2 роки.

Особливості перетворювачів витрати ВПВ:

- а) широкий ряд типорозмірів приладів;
- б) високий клас точності у всьому діапазоні вимірювання, стабільність характеристик в ході експлуатації;
- в) відсутність рухомих частин;
- г) висока надійність;
- д) висока ремонтпридатність;
- е) енергонезалежність (за умови застосування ВПР з автономним живленням).

Технічні характеристики перетворювача витрати ВПВ

1) Метрологічні і конструктивні характеристики наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 Параметри перетворювачів витрати ВПВ

Група	1			2				3		
D _п , мм	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
Номінальна витрата, м ³ /год	0,13	0,2	0,32	0,5	0,8	1,25	2	3,15	5	12,5
Мінімальна витрата, м ³ /год	0,25	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3	10	25
Максимальна витрата, м ³ /год	6,3	10	16	25	40	63	100	160	250	630
Довжина, м	0,11	0,14	0,17	0,18	0,2	0,23	0,27	0,3	0,37	0,45
Ціна імпульсу, м ³ /імп	0,01/0,001/0,0001			0,1/0,01/0,001				1/0,1/0,01		

2) Градувальна характеристика перетворювачів має вигляд:

$$g^0 = (A \cdot F + B) \cdot [1 + C_T \cdot (T - 20)], \quad (3.9)$$

де g^0 – середня об'ємна витрата, м³/год, А, В – індивідуальні градувальні коефіцієнти перетворювача, F – частота сигналу на виході в перетворювач, $(1 + C_T \cdot (T - 20))$ – поправка на вплив температури вимірюваної рідини: Т – температура вимірюваної рідини; C_T – температурний поправочний коефіцієнт (для води C_T = –0,00005).

Градувальні коефіцієнти визначаються індивідуально для кожного приладу при його градуванні і заносяться в паспорт перетворювача.

Перетворювачі з імпульсним виходом мають таку градувальну характеристику:

$$G^0 = \Delta V \cdot N \cdot [1 + C_T \cdot (T - 20)] , \quad (3.10)$$

де G⁰ – кількість пройденної рідини; ΔV – ціна імпульсу виходу; N – кількість імпульсів на імпульсному виході

3) Межа основної допустимої відносної похибки перетворення витрати в частоту електричного сигналу перетворювачів модифікації складають $\pm 1\%$.

4) Межа основної допустимої відносної похибки перетворення кількості пройденої рідини в кількість вихідних імпульсів перетворювачів складає $\pm 1\%$.

5) Діапазон температур вимірюваного середовища – 5 ... 150°C.

6) Додаткова похибка, що виникає при зміні температури вимірюваного середовища, без застосування поправки, на кожні 10°C – не більше 0,05%

7) Робочий тиск –1,6 МПа.

8) Гідравлічний опір перетворювачів на максимальній витраті – не більше 0,03МПа

9) Деталі перетворювачів, дотичні до вимірюваного середовища, виготовлені з матеріалів, стійких до її впливу та не знижують її якості.

3.4 Теплообчислювач MBT-M № 1801

Призначення. Теплообчислювач АКВА-MBT (рис. 3.10), призначений для вимірювання та реєстрації параметрів теплоносія і теплової енергії у водяних системах тепlopостачання різної конфігурації.

Область застосування - вузли обліку у виробників і споживачів теплової енергії і теплоносія, а також автоматизовані системи збору і контролю технологічних параметрів. АКВА-MBT може використовуватися як автономний прилад, так і в складі комплексу технічних засобів інформаційно-вимірювальних систем, де прилад є локальною автоматизованою системою обліку нижнього рівня.

Теплолічильники забезпечують вимірювання параметрів теплоносія і теплової енергії з одного або двох теплових входів, кожен з яких може мати один - три трубопроводи.



Рис. 3.10. Зовнішній вигляд теплообчислювача MBT-M

Теплолічильники по кожному тепловому входу забезпечують вимірювання і подання на індикатор і/або пристрій прийому, зберігання і відображення інформації за допомогою інтерфейсу RS232C таких параметрів:

- кількість теплової енергії;
- поточну об'ємну витрату теплоносія;
- обсяг і маса теплоносія;
- температура теплоносія;
- різниця температур;
- температура холодної води або повітря;
- час нормальної роботи і зупинки обчислення;
- код ситуації;

- тиск у трубопроводах;
- годинні, добові та підсумкові (з наростаючим підсумком) значення параметрів, зазначених вище;

- поточні дату і час (календар).

Умови експлуатації теплообчислювача:

- температура навколишнього середовища, від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря при температурі 25°C до 90%;
- напруженість змінного, з частотою 50 Гц, зовнішнього магнітного поля не більше 400 А/м;
- механічні вібрації частотою 5-25Гц з амплітудою, не більше, 0,1мм.

Теплолічильник має ступінь захисту IP65 по ГОСТ 14254.

Живлення теплообчислювача здійснюється від вбудованої літійової батареї з напругою 3,65В терміном служби 5 або 12 років.

Живлення перетворювачів витрати здійснюється відповідно за вказівками в їх експлуатаційній документації.

Показники надійності:

- а) середній термін служби теплолічильника, не менше 12 років;
- б) середнє напрацювання на відмову не менше 75000 год.

Міжповірочний інтервал - 4 роки.

Принцип роботи. Теплолічильники є комплексними засобом вимірювання, до складу якого входять такі функціональні пристрої:

- теплолічильник МВТ-2М;
- перетворювачі витрати, у кількості від 1 до 6, залежно від конфігурації вимірювальної схеми;
- термоперетворювачі опору в кількості від 1 до 5, залежно від конфігурації вимірювальної схеми;

– датчики тиску в кількості 2 або 4, в залежності від виконання МВТ-2М і конфігурації вимірювальної схеми.

Основні технічні дані і характеристики. Теплолічильники АКВА МВТ відповідають вимогам, зазначеним в табл.3.6.

Таблиця 3.6. Технічні характеристики теплообчислювача АКВА МВТ

Найменування параметрів	Діапазон індикації
Кількість теплової енергії, Гкал	0 - 9999999
Об'єм, м ³	0 - 99999999
Об'ємна витрата, м ³ /год	0 - 9999999
Маса, т	0 - 99999999
Температурі теплоносія і холодної води, °С	0 - 180
Температура повітря, °С	-50...+130
Різниця температур, °С	0-180
Тиск, МПа	0 -1,6
Час нормальної роботи, год	0 - 49999

Теплообчислювач МВТ-2М виконаний в пластмасовому герметичному корпусі, що дозволяє встановлювати його на стіні, щиті або елементах металоконструкції. Всередині корпусу розташовані функціональні вузли приладу: мікропроцесор, індикатор і джерело живлення (Li-батарея).

Введення кабелів зв'язку із зовнішніми пристроями (перетворювачами, тощо) здійснюється крізь гермовводи, а їх підключення проводиться за допомогою елементів приєднання, розміщених на платі, всередині корпусу приладу.

Управління роботою обчислювача здійснюється за допомогою шести кнопок клавіатури управління на лицьовій панелі корпусу приладу.

Представлення інформації здійснюється за допомогою 16-розрядного дворядкового індикатора.

В якості перетворювачів витрати використовуються лічильники гарячої води, витратоміри-лічильники, перетворювачі витрат, внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки та формують вихідні сигнали:

а) пасивний від геркону (опір в замкнутому стані не більше 3кОм при напрузі не більше 0,5В; в розімкнутому стані - не менш 3МОм або струмі витоку не більше 1мкА) або пристрої типу “відкритий колектор” (з опором в ланцюзі колектора 20кОм), частота імпульсів не більше 10Гц при тривалості стану “розімкнуте”, не більше 50мс, ціна імпульсу від 1 до 5000л;

б) активний з напругою в стані “Н” від 2,4 до В, в стані “L” - $\pm 0,4$ В при вихідному опорі не менше 10 кОм, частота імпульсів не більше 1000Гц при тривалості імпульсу і паузи не менше 0,5мс.

У вимірювальному комплексі використовуються термоперетворювачі опору, внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, що мають номінальні статичні характеристики 100П, Pt100, 100М, 500П та Pt500 по ДСТУ 2858, та перетворювачі тиску, внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, мають вихідні сигнали постійного струму 4-20 мА і межі допустимої зведеної похибки $\pm 1\%$.

Принцип роботи, теплотічильників базується на безпосередньому перетворенні обчислювачем сигналів, що надходять від перетворювачів витрати, температури і тиску в інформацію про вимірювані параметри теплоносія з подальшим обчисленням і висвітленням на індикаторі і/або на зовнішній прилад.

3.5 Баки-акумулятори води

Баки акумулятори для гарячої води призначені для компенсації піків витрати гарячої води в системах теплопостачання, а також для акумуляування води, що нагрівається вночі, в період пільгового тарифу на електроенергію.

Стальний бак-акумулятор тепла складається з металевого корпусу горизонтального або вертикального виконання, з опорами або без них. Для зменшення витрати тепла, бак-акумулятор підлягає обов'язковій теплоізоляції. Товщина теплоізоляції бака та її матеріал визначаються на стадії проектування й залежать від кліматичних характеристик району, де буде встановлений теплоакумулятор. Чим товстіша теплоізоляція, тим менші втрати тепла з поверхні бака-акумулятора.

Вода з найвищою температурою накопичується у верхній частині бака й може відводитися через верхні патрубки для опалення; менш нагріта вода (середня частина бака) може відводитися патрубками середнього рівня для опалення теплими підлогами. Внутрішня поверхня бака не потребує захисту від корозії, оскільки в системах опалення постійно використовується та ж вода, яка з часом становиться “нейтральною”. Для зменшення тепловтрат через стінки бака, його теплоізолюють.

У пристрої бака акумулятора можуть бути передбачені горизонтальні перетинки, які розділяють його на секції з різними рівнями температури по висоті. Певною мірою, це покращує ефективність акумуляції теплоти. Також бак може комплектуватися ревізійним фланцем.

Максимальна температура теплоакумуляторів не перевищує 90°C. Технічні вимоги до опалювальних котлів також відзначають, що найвищою температурною межею є показник 95°C. Тому при встановленні

у своєму будинку буферного накопичувача тепла, важлива фактором є розміри і температурний режим опалювальних елементів, передбачених для використання в системі теплопостачання. Найвищий ефект від акумуляторів буде досягатися в системі низької температури. Найкраще система з тепловим акумулятором функціонуватиме у будинку з обігрівом за допомогою теплих підлог.

3.6 Циркуляційний насос

Циркуляційний насос - одна з головних складових системи опалення та гарячого водопостачання. Він призначений для забезпечення примусового руху рідини по замкнутому контурі(циркуляції), а також рециркуляції. При розрахунку продуктивності насосу, що працює у циркуляційної системі, слід враховувати тільки втрати на тертя у трубопроводі. Висота системи (будівлі) не має значення, так як рідина, яка подається насосом в “подаючий” трубопровід, штовхає воду також у зворотному напрямку. Це забезпечує відносно невелику потужність насосу.

Grundfos UPS 25/40 (25-50; 25-60; 25-70; 25-80) (рис.3.11.) являє собою малогабаритний циркуляційний насос з практично безшумною роботою і економним споживанням електроенергії. Насос з ротором, ізольованим від статора, і електродвигуном утворює єдиний вузол без ущільнень валу. Робоче колесо, виготовлене з термостійкого композитного матеріалу, що надає приладу антикорозійну стійкість. Обмотки електродвигуна стійкі до струму блокування, тому він не потребує додаткового захисту. Для зручності технічного обслуговування, електродвигун можна зняти, не проводячи демонтаж насосу із системи.

Насос використовується для циркуляції води в системах опалення та гарячого водопостачання, а також в системах обігріву підлог.



Рис. 3.11. Зовнішній вигляд насосу Grundfos UPS 25/40

Переваги насосу Grundfos UPS 25/40:

- широкий діапазон параметрів;
- висока економічність;
- низький рівень шуму;
- просте електричне підключення;
- високоякісні матеріали;
- тривалий термін служби.

Насос перекачує чисті, нев'язкі і неагресивні рідини, які не містять твердих часток або волокон.

Графік залежності втрати напору від витрати представлений на рис. 3.12.

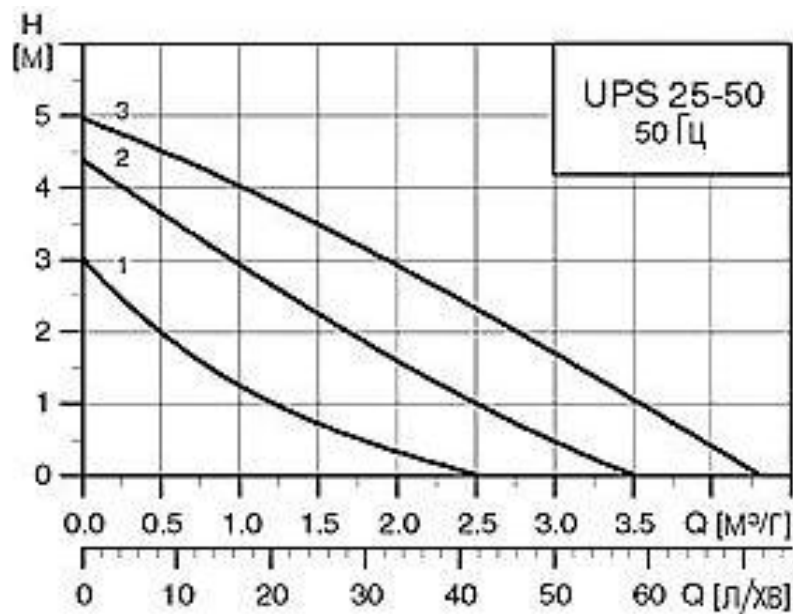


Рис. 3.12. Графік залежності втрати напору від витрати

Експлуатаційні обмеження:

Максимальна кінематична в'язкість середовища – $1 \text{ мм}^2/\text{с}$ (при температурі 20°C). Температурний діапазон середовища від -25°C до $+110^\circ\text{C}$.

3.7 Манометр радіальний МП-100.

Манометр – це прилад, що вимірює тиск рідини чи газу.

Принцип дії манометру заснований на зрівноважуванні вимірюваного тиску силою пружної деформації трубчастої пружини або більш чутливою двопластинчатою мембраною, один кінець якої запаяний в утримувач, а інший через тягу пов'язаний з трібно-секторним механізмом, що перетворює лінійне переміщення пружного чутливого елементу в круговий рух стрілки.

Манометр (рис. 3.13) марки МП-100 призначений для вимірювання надлишкового тиску неагресивних, середовищ, що некристалізуються (пари, газ, в тому числі кисень, ацетилен, пропан-бутан) з максимальною температурою вимірюваного середовища до $+50^{\circ}\text{C}$. Манометри з корпусом зі сталі, встановлюються в трубопровід, або систему, положення встановлення – будь-яке. Манометр МП-100 відноситься до класу вимірювальних приладів з деформаційним чутливим елементом - одновиткова трубчаста пружина (трубка Бурдона).



Рис. 3.13. Манометр радіальний МП-100

Манометри застосовуються у всіх випадках, коли необхідно знати, контролювати і регулювати тиск. Найбільш часто манометри застосовують в теплоенергетиці, на хімічних, нафтохімічних підприємствах та підприємствах харчової галузі.

Технічні характеристики манометру МП-100 наведені в табл.3.7

Таблиця 3.76. Технічні характеристики манометру МП-100

Назва виробу		Манометр надлишкового тиску технічний				
Тип виробу (марка)		МП-100				
Відповідність стандартам		ГОСТ 2405-88				
Діаметр корпусу		100 мм				
Діапазон вимірювання		0 - 0,6 МПа				
Клас точності		1,5				
З'єднання		Різьба		M20x1,5		
Максимальна температура середовища		до +50 °C				
Основні матеріали манометру МП-100		1. Корпус		Сталь листова		
		2. Циферблат		Полістирол або алюмінієвий сплав		
		3. Скло		Полімерне або технічне		
		4. Механізм		Латунь		
Ступінь захисту		IP40, IP54				
Міжповірочний інтервал		не більше 12 місяців				
Діаметр корпусу D, мм.	Габаритні розміри манометру МП-100				Монтажна різьба d, мм.	Маса, (кг.)
	H	H1	I	S		
100	365	795	97	22	M20x1,5	0,46

3.8 Фільтр сітчастий латунний з внутрішньою різьбою з пробкою типу Y222

Фільтр сітчастий “Y” латунний (рис. 3.14, 3.15) призначений для очищення води у системах господарсько-питного холодного та гарячого водопостачання від механічних забруднень.



Рис. 3.14. Фільтр сітчастий латунний типу Y222

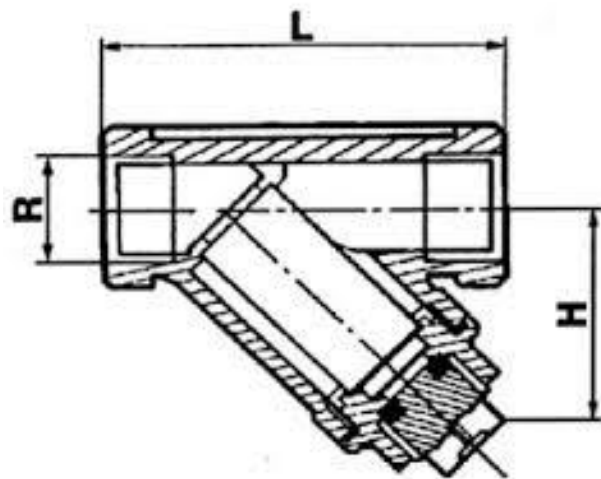


Рис. 3.15. Габаритні розміри фільтра сітчастого

Особливості конструкції. Відмінною особливістю у конструкції сітчастих фільтрів є те, що плоска прокладка з пароніту на заглушці замінена на прокладку у вигляді кільця з гуми NBR.

Для прокладки в корпусі фільтру зроблена спеціальна проточка, в якій вона розміщена. За такої конструкції прокладка знаходиться в “економному” режимі експлуатації.

Прокладка у вигляді кільця виконана з термостійкої гуми NBR з підвищеним вмістом акрилонітрилу, що надає їй властивості зберігати стабільний показники протягом всього терміну експлуатації. Матеріал корпусу виробу: гарячо-пресована латунь CW617N.

Робочі параметри фільтрів:

- умовний діаметр D_n : 15-100 мм;
- умовний тиск P_n : 2 МПа;
- температура робочого середовища: $<100^{\circ}\text{C}$;
- робоче середовище: вода;
- розмір отвору сітки: $400 \times 1300 \text{ мм}$.

Загальні відомості. Фільтри сітчасті призначені для установки перед регулюючою арматурою, витратомірами, насосами з “мокрим” ротором електродвигуна та іншими пристроями з підвищеними вимогами до чистоти води, що проходить через них.

Фільтри складаються з:

- корпусу;
- кришки зі зливним отвором;
- сітчастого циліндра з нержавіючої сталі;
- заглушки зливного отвору або крана для спуску бруду;
- ущільнювальної прокладки.

Фільтри поділяються за:

- матеріалом корпусу і кришки: латунь, чавун або нержавіюча сталь;
- наявності заглушки або спускного крана;
- способу з’єднання з трубопроводом: з внутрішньою різьбою або фланцевий.

Всі сітчасті фільтри повинні встановлюватися на трубопроводах так, щоб напрямок стрілки на їх корпусі збігався з напрямком руху води і зливний отвір в кришці було звернуто донизу.

У табл.3.8 наведені технічні параметри сітчастих фільтрів, в табл.3.9 - наведені монтажні параметри сітчастих фільтрів (рис.3.15).

Таблиця 3.8. Технічні параметри сітчастих фільтрів

Умовний прохід Dn, мм	Розмір приєднувальної різьби, дюйми	Умовний Ру і макс. робочий тиск Рр, бар	Температура робочого середовища, °C		Умовна пропускна здатність, м³/год
			T _{min}	T _{max}	
15	½	16	0	100	2,7
20	¾				5,1
25	1				11,3
32	1¼				17,2
40	1½				23
50	2				46,8

Таблиця 3.9. Монтажні параметри сітчастих фільтрів

Умовний прохід Dn, мм	Розмір приєднувальної різьби, дюйми	Розмір комірки сітки, мм	Габаритні розміри, мм		Маса, кг
			L	H	
15	½	0,5	61	34	0,21
20	¾		70	39	0,28
25	1		86	42	0,46
32	1¼		100	50	0,68
40	1½		111	57	0,92
50	2		138	70	1,14

3.9 Кран кульковий латунний повно прохідний

Кулькові крани (рис.3.16) завдяки своїй універсальності, надійності і простоті експлуатації на сьогоднішній день набули надзвичайної популярності серед споживачів.



Рис. 3.16. Зовнішній вигляд кульового крану

Кульковий кран можна використовувати у водопровідних мережах, трубопроводах опалення та газопостачання. Призначення кулькових кранів практично те ж, що і вентильних, але їх конструкція кардинально відрізняються від вентилів. Для того щоб відкрити кульковий кран не потрібно обертати маховик, як в крані вентильного типу. Достатньо повернути рукоятку тільки на 90° , і кран повністю відкритий.

Кульковий кран позбавлений такого елемента, як гумова прокладка. Адже, саме вона (будучи зношеною) стає причиною підтікання в кранах вентильного типу.

Відсутність в конструкції кульового крану внутрішніх кишень не призводить до скупчення в його корпусі піщинок або іржі.

Кран кульовий муфтовий латунний застосовується в комунальному господарстві в якості запірної арматури в системах опалення та водопостачання, робоче середовище - вода, пара і газ. Має корпус із хромованої латуні, яка має більш високу механічну міцність.

До основних переваг кульового крану даного різновиду відносяться:

- виключення ймовірності протікання робочого середовища завдяки правильній сферичній формі затвору, який щільно прилягає до ущільнювачів;
- довговічність, що досягається за рахунок надійної антикорозійного захисту кульового затвору;
- зносостійкість і надійність роботи крану завдяки абсолютно гладкій робочій поверхні затвору;
- здатність витримувати високий робочий тиск за рахунок рівномірної товщини стінок корпусу;
- простота установки і експлуатації.

Технічні характеристики:

- величина тиску (номінального) PN: 1,6 МПа;
- температура робочого середовища: не вище +110°C;
- латунний корпус;
- ущільнюючі елементи затвору - політетрафторетилен;
- матеріал ущільнення шпинделя - фторопласт;
- клас герметичності по ГОСТ 9544-93: “А”;
- монтується за допомогою муфт;
- ручне керування.

Конструкція кульового крану представлена на рис.3.17, вона включає в себе такі елементи:

- 1 - Корпус (латунь).
- 2 - Сідло кулі.
- 3 - Приєднувальний патрубок (латунь).
- 4 - Ущільнення штоку.
- 5 - Гайка (латунь).
- 6 - Накидна гайка (латунь).

7 - Шпindelь (латунь).

8 - Рукоятка типу “Метелик”.

9 - Куля (латунь).

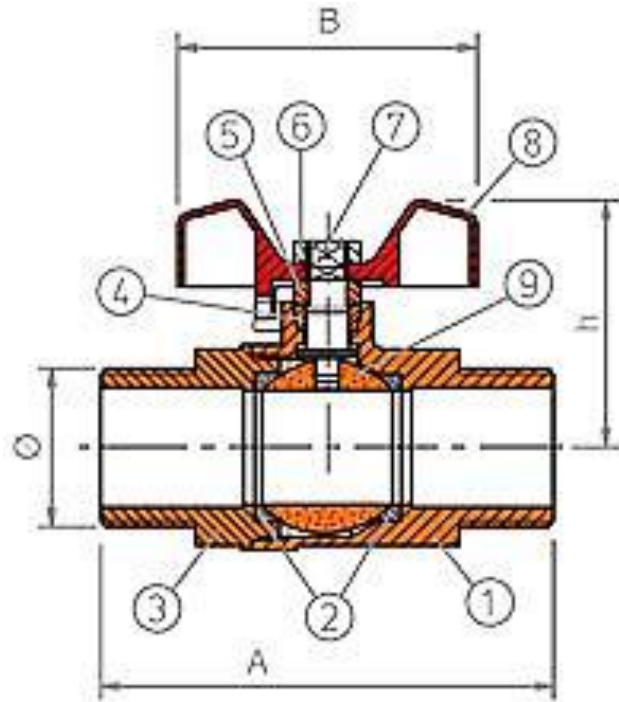


Рис. 3.17. Конструкція кульового крану

Характеристики кульового крану наведені в табл. 3.11.

Таблица 3.11. Характеристики кульового крану

Dn	R	A	B	h
10	3/8"	53	56	42
15	1/2"	58	56	45
20	3/4"	62	56	51
25	1"	69	66	55

Основою конструкції кульового крану є кульовий затвор.

Кульковий затвор являє собою кулю, закріплену на двох вісях (приводний шток і опорна вісь) і здатний в них вільно повертатися завдяки підшипникам ковзання.

Два ущільнюючі елементи з сідлами забезпечують кульковому крану надійне ущільнення, як в закритому, так і в робочому стані. Причому, напрямок подачі робочого середовища ролі не грає.

Ще одним позитивним моментом при використанні кулькового крана є те, що його прохідний отвір (при повному відкритті), рівний внутрішньому діаметру трубопроводу. І тому практично не робить ніякого додаткового опору робочому середовищу, що проходить крізь нього.

В лабораторній роботі використовується кульковий повнопрохідний кран з такими параметрами:

- номінальний діаметр крану: 10-25мм;
- робочий тиск крана: 1,6МПа;
- максимальна температура: 110°C;
- виконання: повнопрохідний, латунний, хромований;
- тип приєднання: зовнішня/зовнішня різьба.

3.10 Ручні повітровідвідники

Ручні повітровідвідники, або як їх ще називають, крани Маєвського, також мають корпус з латуні. Їх пристрій характеризується граничною простотою: канал скидання газу або повітря відкривається і закривається вручну, за допомогою викрутки переміщення регулятора голчастого типу (рис. 3.19).

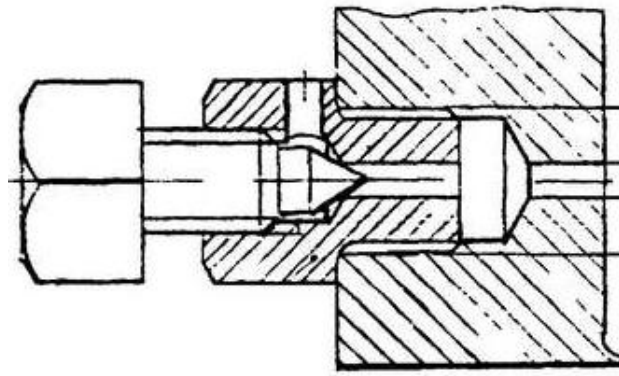


Рис. 3.19. Схема крана Маєвського

У класичному варіанті повинна використовуватися конічна запірніа різьба, але, оскільки її важко нарізати, особливо на малих діаметрах, зарубіжні фірми-виробники все частіше, з метою здешевлення кінцевого продукту, використовують звичайну, циліндричну різьбу з прокладкою. Зустрічаються також і конструкції з використанням металевої кульки замість голчастого штоку, який може фіксуватися у нерухомому положенні, перекриваючи канал скидання газу (повітря). Ручними повітровідвідниками в даний час користуються, в основному, для відводу повітря з опалювальних приладів.

Актуальність використання повітровідвідників зростає в міру того, як все більшого поширення набувають закриті автономні системи опалення, невід'ємною частиною яких вони і є. Зрозуміло, що ефективність функціонування як самих опалювальних приладів, так і всього опалювального контуру безпосередньо залежить від того, наскільки якісно і своєчасно виводяться гази, які скупчуються у вищих точках системи. Питання вже не в тому, мати або не мати повітровідвідник на кожному опалювальному приладі, а, швидше, в тому, який із них буде краще виконувати свої функції, ручний або автоматичний. І якщо західноєвропейські фахівці частіше зупиняють свій вибір на

автоматичному, то в середовищі вітчизняних фахівців більшою популярністю користується ручний. Справа в тому, що у автоматичних повітровідвідників випускний канал з голкою часто замулюється, забруднюється або підтікає, особливо у зв'язку з поганою якістю підживлювальної води. Бувають і такі випадки, що він просто не спрацьовує без будь-яких видимих причин. І ще один нюанс: якщо повітровідвідник вбудовується безпосередньо в сам опалювальний прилад, то поплавок знаходиться у горизонтальному положенні, обмежуючи можливість його переміщення. Інша річ - ручний повітровідвідник: не сподіваючись на автоматику, завжди можна спустити повітря або газ, що скупчився вручну. Потрібно відзначити, що деякі споживачі дотепер ще воліють замість повітрявідводчика врізати звичайний кульовий кран (в даному випадку повітря виходить швидше). І, крім того, він дозволяє при необхідності злити застоюну в системі холодну воду.

За результатами аналізу аварійних ситуацій рекомендується орієнтуватися на ручні або автоматичні повітровідвідники, але ті, що приєднуються до опалювального приладу через кутник. У цьому випадку повітровідвідник розташований вертикально і умови його роботи краще, ніж тоді, коли він безпосередньо вбудовується у колектор. З автоматичним повітровідвідником, вбудованим у колектор, можуть виникнути проблеми при використанні антифризу, пов'язані з ціноутворенням, яке може практично виключити нормальну роботу повітровідвідника, принаймні, в автоматичному режимі.

Кілька зауважень з приводу установки повітровідвідників на опалювальних приладах. Перш за все необхідно встановлювати повітровідвідники на алюмінієві радіатори у зв'язку з тим, що алюміній, діючи на воду як каталізатор, прискорює процес її розкладання на водень і кисень. Дещо меншою мірою це стосується біметалічних радіаторів з

алюмінієвими голівками. Завжди слід пам'ятати: при обслуговуванні повітровідвідників у системах опалення з алюмінієвими радіаторами забороняється користуватися відкритим вогнем або палити у безпосередній близькості від них, так як це може призвести до займання виділяються при експлуатації системи горючих газів. І ще одна рекомендація: у відповідності з теорією слід встановлювати повітровідвідники із запобіжними клапанами на всіх приладах, в тому числі і на тонкостінних сталевих панельних радіаторах. До речі, західноєвропейські фірми зазвичай так їх і поставляють, незважаючи на те, що у них умови експлуатації опалювальних систем набагато кращі.

3.11 Термодатчик

Термодатчики є первинними перетворювачами і служать для вимірювання температури.

За методом вимірювання термодатчики діляться на два типи:

- термопари (рис. 3.19), дія яких заснована на вимірювання термоелектрорухоючої сили (термо-ЕРС), що розвивається термопарою (спаєм) з двох різнорідних провідників;
- датчик термоопору (рис. 3.20), що використовують залежність електричного опору речовини від його температури.

Вимірювання температур за допомогою термопар набуло широкого поширення завдяки надійності конструкції датчика та можливості працювати широкому діапазоні температур.



Рис. 3.19. Термопара

Широкому застосуванню термопара зобов'язана своїй простоті, зручності монтажу, можливості вимірювання локальної температури.

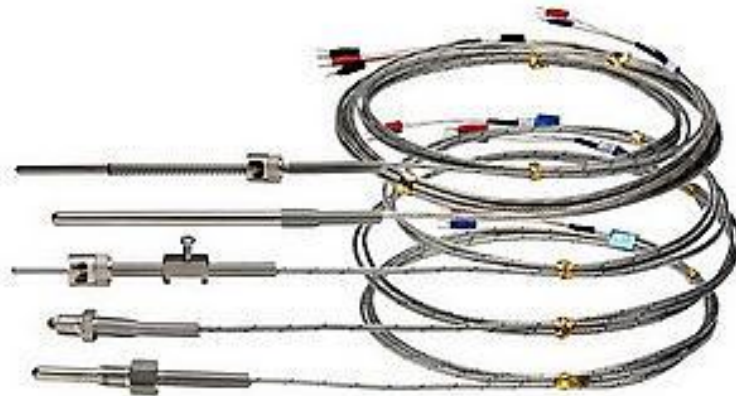


Рис. 3.20. Датчик термоопору

Термоопори - це пристрої для вимірювання температури. Принцип дії приладу полягає в зміні електричного опору сплавів, напівпровідників і чистих металів (тобто без домішок) з температурою. Вимірювання температури за допомогою термоопору засноване на температурній залежності електричного опору металів, з якого зроблений чутливий елемент термоопору. Чутливий елемент зазвичай виготовляється з міді або

платини і конструктивно виконується у вигляді дрітної котушки або плівкового покриття.

Термоопори широко застосовуються у системах автоматичного контролю та регулювання температури на об'єктах енергетики, нафтової, газової, гірничодобувної та інших галузях промисловості.

Технічні характеристики термодатчиків:

- межі вимірювань від -50 до $+1200^{\circ}\text{C}$.
- діаметр головки датчика від 5 до 17,2мм або на замовлення.
- точність до $0,3 \pm 0,005^{\circ}\text{C}$.

Градувальна характеристика перетворювачів температури Pt-500 наведена в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 Опір перетворювачів температури Pt-500

$^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	500	501,954	503,907	505,860	507,812	509,764	511,715	513,665	515,615	517,564
10	519,513	521,461	523,408	525,355	527,302	529,247	531,192	533,137	535,081	537,025
20	538,968	540,910	542,852	544,793	546,733	548,673	550,613	552,552	554,49	556,428
30	558,365	560,301	562,237	564,173	566,107	568,042	569,975	571,908	573,841	575,773
40	577,704	579,695	581,565	583,495	585,424	587,352	589,288	591,207	593,104	595,866
50	596,986	598,911	600,835	602,759	604,682	606,605	608,527	610,448	612,369	614,290
60	616,210	618,129	620,047	621,965	623,883	625,800	627,716	629,632	631,547	633,462
70	635,376	637,289	639,202	641,114	643,026	644,937	646,848	648,758	650,667	652,576
80	654,484	656,392	658,299	660,205	662,111	664,017	665,921	667,826	669,729	671,632
90	673,535	675,437	677,338	679,239	681,139	683,038	684,937	686,836	688,734	690,631
100	692,528	694,424	696,319	698,214	700,108	702,002	703,896	705,788	707,680	709,572
110	711,463	713,353	715,243	717,132	719,021	720,909	722,796	724,683	726,560	728,456
120	730,340	732,225	734,109	735,992	737,875	739,757	741,639	743,520	745,400	747,28
130	749,160	751,038	752,917	754,794	756,671	758,548	760,424	762,299	764,174	766,048
140	767,922	769,795	771,667	773,539	775,416	777,281	779,151	781,020	782,889	784,758
150	786,626	788,493	790,360	792,226	794,091	795,956	797,820	799,684	801,547	803,410
160	805,272	807,133	808,994	810,855	812,714	814,574	816,432	818,290	820,148	822,004
170	823,861	825,716	827,571	829,429	831,280	833,133	834,986	836,838	838,690	840,541

4 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

4.1 Лабораторна робота № 1

Тема роботи: Оцінювання конструктивних особливостей пристроїв та приладів

Мета роботи: Ознайомитись з особливостями роботи та конструкцією приладів лабораторно-навчального стенду фірми “Аква Україна”; ознайомитись з будовою, принципом дії, технічними характеристиками та інструкціями по експлуатації приладів і систем, які є складовими елементами стенду; набути практичних навиків вимірювання витрати та кількості рідин; виконати повірку лічильників стенду, використовуючи один з лічильників як зразковий; набути практичних навиків обробки результатів експериментальних досліджень приладів та систем вимірювання витрати і кількості ПЕРВ.

Теоретичні відомості

Повірка засобів вимірювальної техніки – встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування на підставі результатів контролю їх метрологічних характеристик.

Для засобів вимірювальної техніки, які підлягають повірці, встановлено такі види повірки: первинна, періодична, позачергова, інспекційна та експертна.

Первинна повірка засобів вимірювань – повірка, яка виконується при випуску засобів вимірювання з виробництва або після ремонту, а також при ввезенні засобів вимірювань з-за кордону партіями.

Необхідність проведення первинної повірки перед введенням в експлуатацію та її обсяг встановлюються в методиках повірки засобів вимірювальної техніки.

Періодична повірка засобів вимірювань – повірка, яка виконується через встановлені інтервали часу для засобів вимірювань, що знаходяться в експлуатації або на зберіганні.

Міжповірочний інтервал – встановлений максимальний проміжок часу між первинною та першою періодичною повіркою, а також між двома послідовними періодичними повірками.

Засоби вимірювальної техніки визнають придатними до застосування, якщо результати повірки підтверджують їх відповідність метрологічним і технічним вимогам до цих засобів вимірювальної техніки, встановленим у нормативних документах або технічній документації.

Міжповірочні інтервали для періодичної повірки встановлюються нормативно-технічними документами з повірки в залежності від стабільності того або іншого засобу вимірювань і становлять від декількох місяців до декількох років. Міжповірочний інтервал встановлюють таким чином, щоб забезпечити придатність засобів вимірювальної техніки до застосування протягом цього інтервалу.

Якщо результати періодичної повірки або державного метрологічного нагляду свідчать про те, що засоби вимірювальної техніки не відповідають метрологічним нормам протягом встановленого міжповірочного інтервалу, територіальний орган Держстандарту України, який проводить повірку може приймати рішення щодо зменшення міжповірочного інтервалу.

Періодичну повірку проводять у календарні терміни, встановлені графіком повірки засобів вимірювальної техніки, або за заявкою користувачів засобів вимірювальної техніки.

Позачергова повірка засобів вимірювань – повірка засобів вимірювань, що проводиться раніше строку його чергової періодичної повірки.

Позачергова повірка здійснюється в таких випадках:

- за потреби пересвідчитись у придатності засобів вимірювальної техніки до застосування;
- у разі пошкодження відбитка повірочного тавра або втрати свідоцтва про повірку;
- у разі застосування засобів вимірювальної техніки як комплектувальних, якщо час, що минув після останньої повірки, перевищує половину міжповірочного інтервалу;
- у випадку продажу споживачеві засобів вимірювальної техніки в тому разі коли час, що минув після останньої повірки, перевищує половину міжповірочного інтервалу.

Інспекційна повірка засобів вимірювань – повірка, що проводиться органами метрологічної служби при здійсненні державного нагляду або відомчого контролю за станом і застосуванням засобів вимірювань.

За рішенням державного інспектора з метрологічного нагляду інспекційну повірку можна проводити не в повному обсязі, передбаченому методикою повірки.

Засоби повірки:

1. При проведенні повірки повинні бути застосовані наступні засоби повірки:

- повірочна установка;
- манометр класу 1 з діапазоном тиску 0 – 2,5МПа (0 – 25 кгс/см²) за ГОСТ 2405–80;
- термометр з ціною поділки 1°C і діапазоном вимірювання температур 0 – 100°C за ГОСТ 2823–73;

- установка для створення тиску 2 МПа (20 кгс/см²);
- мембранний метеорологічний барометр за ГОСТ 23696–79;
- секундомір класу 3 з ціною поділки 0,2 за ГОСТ 5072–79.

2. Всі засоби повірки повинні бути повірені (атестовані) відомчою або державною метрологічною службою та мати діюче свідоцтво про повірку (атестацію) або відбитки повірювальних клейм.

3. Дозволяється застосовувати інші засоби повірки, які пройшли метрологічну атестацію в органах державної метрологічної служби та забезпечують співвідношення похибок зразкових та робочих засобів вимірювання не більше за 1:3.

Умови проведення повірки

- 1) При проведенні повірки повинні виконуватися наступні умови:
 - температура води: від плюс 5 до плюс 40°C для холодноводних лічильників, від плюс 10 до плюс 30°C для гарячеводних лічильників;
 - температура оточуючого повітря від плюс 5 до плюс 50°C;
 - відносна вологість повітря від 30 до 80%;
 - атмосферний тиск від 84 до 106,6 МПа (0,84 до 1,07 кгс/см²);
 - відсутність вібрації, тряски та ударів, що впливають на роботу лічильника;
 - зміна температури води за час повірки не більше за -5°C.
- 2) Температуру води вимірюють на початку та наприкінці повірки безпосередньо в мірниках.
- 3) Лічильники повинні бути встановлені на повірочній установці по одному або послідовно по декілька штук.
- 4) Число лічильників в групі повинно забезпечувати можливість їх повірки при найбільшій повірочній витраті. Лічильники повинні мати однаковий діаметр умовного проходу. Лічильники слід приєднати до трубопроводу повірочної установки через перехідні або проміжні

патрубки, довжина яких повинна бути не менш $4 D_n$ перед першим і $1 D_n$ після кожного наступного лічильника, де D_n – номінальний діаметр умовного проходу лічильника.

Стрілка на корпусі лічильника повинна співпадати з напрямком потоку води.

Підготовка до роботи

Перед проведенням повірки повинні бути виконані наступні підготовчі роботи:

- перевірка наявності діючих свідоцтв про повірку (атестацію) засобів повірки, відбитків повірювальних клейм;
- перевірка герметичності з'єднання лічильників з трубопроводом та між собою.

Перевірку здійснюють тиском води в системі при відкритому запірному пристрої перед лічильником та закритому після нього; пропускають воду крізь лічильники при найбільшій повірочній витраті з метою видалення повітря з системи.

Проведення повірки

1) Зовнішній огляд.

При зовнішньому огляді лічильників, що випускаються з виробництва або після ремонту повинно бути встановлено:

- відповідність комплектності вимогам експлуатаційної документації на лічильник;
- стан лакофарбового покриття;
- наявність стрілки, що вказує напрямок потоку води;
- чіткість зображення надписів на маркірованій табличці, а також цифр та відміток на циферблаті і роликах відлікового пристрою;
- відсутність плям, тріщин, відколів, що впливають на зняття показань за відліковим пристроєм.

2) Перевірка герметичності.

Герметичність лічильників перевіряють створенням в робочій порожнині тиску 1,6 МПа (16 кгс/см²) за допомогою гідравлічного пресу. Тиск витримують протягом 15хв.

Результати перевірки вважають задовільними, якщо після витримки тиску протягом 15хв. у місцях з'єднань та корпусі не спостерігається краплепадіння або витоків води. Падіння тиску за манометром не дозволяється.

Перевірку герметичності лічильників, що випускаються з виробництва та ремонту, дозволяється за узгодженням з територіальним органом Держстандарту здійснювати відділом технічного контролю підприємства – виготовлювача або організацією, що здійснює ремонт. Акт або протокол перевірки пред'являють представнику органів державної метрологічної служби, який виконує повірку.

Для виключення можливості випуску з виробництва або після ремонту негерметичних лічильників, представник територіального органу Держстандарту повинен перевірити герметичність 10 % лічильників, які пред'являються на державну повірку. У випадку негерметичності якого-небудь лічильника з відібраної партії лічильників піддають перевірці на герметичність всю партію лічильників.

3) Опробовування.

Під час опробовування виявляють готовність лічильників до повірки. Для цього встановлюють потрібну витрату води ($Q_{\min}$) та перевіряють обертання стрілки. Потім закривають зливальний пристрій повірочної установки. Лічильник зі стрілкою, яка не обертається замінюють іншим.

4) Визначення метрологічних характеристик.

В сучасних системах комерційного обліку енергетичних ресурсів застосовують багато різновидів конструкцій тахометричних лічильників.

Для оцінки і порівняння різних модифікацій лічильників як вимірювальних пристроїв і визначення реальної точності вимірювання кількості нормуються наступні характеристики:

- *калібр* - номінальний діаметр (D_n) вхідного патрубку лічильника в міліметрах;
- *відносну похибку* лічильників визначають за результатами вимірювання одного й того ж об'єму води, пропущеного крізь лічильник та повірочну установку.

Відносну похибку у відсотках визначають для кожної повірочної витрати за формулою:

$$\delta_i = \frac{V_{\text{л}} - V_{\text{зр}}}{V_{\text{зр}}} \cdot 100\%,$$

де $V_{\text{зр}}$ – об'єм, показаний зразковим лічильником, м^3 ; $V_{\text{л}}$ – об'єм, показаний лічильником, що повіряється, м^3 .

- *втрата напору* – різниця тисків, визначена за показаннями манометрів у вхідному і вихідному патрубках лічильників, обумовлена гідравлічним і механічним опорами в його механізмі;
- *нижня межа вимірювань* – найменша витрата, за якої відносна похибка показань лічильника не виходить за межі допустимих значень;
- *верхня межа вимірювань* – найбільша витрата, за якої похибка показань і втрата напору не виходять за межі встановлених допусків (робота лічильників на верхній межі допустима тільки за короткочасних пікових навантажень не більше однієї години на добу);
- *номінальна витрата* – найбільша витрата, за якої похибка показань не виходить за межі допустимих значень, а втрата напору на цій витраті не створює в приладі зусиль, які призводять до швидкого зношення поверхонь тертя;

– *пори́г чутливості* – найменша витрата, за якої чутливий елемент приладу набуває усталеного руху, а лічильник починає видавати показання з будь-якою похибкою;

– *ємність лічильного механізму* – найбільша кількість речовини, яка може бути відрахована лічильним механізмом приладу.

Результати повірки заносять у протокол.

Оформлення результатів повірки

1. При позитивних результатах державної повірки пломби з відбитком повірювального клейма навішують в місцях, перешкоджаючих доступу до відлікового пристрою сумарного обліку лічильника та регулюючих пристроїв вимірювача об'єму і відлікового пристрою (при встановленні функціонального перетворювача на лічильник, пломба повинна виключити доступ до перетворювача), вказаних в технічних описах на лічильник.

2. Результати повірки заносять у паспорт і засвідчують підписом державного повірника та відбитком повірювального клейма.

3. Результат повірки лічильника заносять до протоколу.

4. Лічильник, що не задовольняє вимогам даної рекомендації до випуску та застосування не допускають.

При встановленні лічильників у системах обліку енергоресурсів слід дотримуватися таких рекомендацій:

1. Переріз трубопроводу в місці встановлення лічильника повинен бути повністю заповнений вимірюваною рідиною. Це правило не розповсюджується на прилади, призначені для вертикального монтажу.

2. Для повного видалення повітря із системи необхідно встановити повітряний клапан у найближчій до приладу верхній точці трубопроводу.

3. Для усунення негативного впливу турбулентності потоку перед приладом слід витримувати стабілізуючу пряму ділянку трубопроводу не

менше $3D_n - 5D_n$. На цій ділянці не повинно бути жодного приладу або пристрою, який би впливав на структуру потоку рідини: засувки, відводів, обернених клапанів, насосів, звужень, розширень тощо.

4. Для усунення небезпеки пошкодження занурених у рідину частин лічильника гідравлічними ударами, після приладу необхідно передбачити пряму ділянку довжиною $1D_n$. Ця ділянка повинна задовольняти вимогам, описаним в п.3.

5. Для усунення механічних пошкоджень забрудненнями, бажано встановити до і після приладу, поза прямими ділянками, описаними в п. 3-4, фільтри. Це можуть бути як прості сітчасті, так і складніші та надійніші магнітомеханічні фільтри.

6. Для швидкого демонтажу лічильників на час перевірки або ремонту необхідно передбачити запірну арматуру до і після приладу, поза прямими ділянками, описаними в п.3,4.

7. Місце встановлення приладу обирається таким чином, щоб лічильник був легкодоступним.

8. Якщо діаметр приладу менше діаметру труби, то перехід з одного діаметра на інший виконується конусоподібно (конфузор).

9. Лічильник монтується тільки після закінчення всіх зварювальних і інших робіт по підготовці установочного гнізда.

10. Лічильники встановлюються відліковим пристроєм доверху.

11. Напрямок стрілки на бічній поверхні корпусу повинен співпадати з напрямом потоку рідини.

Умовою довготривалої і безвідмовної роботи лічильника є правильний його вибір. При виборі лічильника необхідно користуватися наступними рекомендаціями:

1. Діаметр приладу підбирається за діапазоном витрат рідини в трубопроводі, а не за діаметром труби, на яку передбачається встановити

лічильник. Не слід завищувати розміри приладу, оскільки це може призвести до збільшення похибки вимірювань і невиправданих капіталовкладень. Не слід також і занижувати розміри приладу, оскільки він при цьому буде працювати в екстремальному режимі, що призведе до передчасного зношення рухомих частин лічильника.

2. Якщо необхідно встановити прилад на вертикальний трубопровід, слід обирати прилад, призначений спеціально для вертикального монтажу.

3. Якщо температура води в системі не перевищує 40⁰С, рекомендується обирати лічильник на холодну воду. При більш високій температурі води необхідно брати лічильник гарячої води.

4. Якщо система критична за гідравлічним перепадом тиску, то бажано обирати прилад з найменшим коефіцієнтом гідравлічного опору.

Порядок виконання роботи:

- а) ознайомитись з конструкцією вимірювального стенду [4];
- б) визначити лічильник, який буде зразковим;
- в) записати початкові показання всіх лічильників;
 - 1) ввімкнути стенд;
 - 2) встановити температуру 20⁰С за допомогою магазинів опору, відповідно до табл. 3.11.
- г) через рівні проміжки часу записати показання лічильників для п'яти витрат, що встановлюються насосом до табл. 4.1;
- д) на підґрунті отриманих даних визначити витрати рідини, зафіксовані у всіх точках зняття показань;
- е) визначити приведену похибку лічильників, що повіряються, за виразом (4.1):

$$\gamma = \frac{Q' - Q}{Q} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де Q' - витрата визначена зразковим лічильником, Q - витрата визначена лічильниками, що повіряються;

ж) побудувати графік залежності $\gamma(Q)$ приведеної похибки лічильників, що повіряються, в залежності від витрати, визначеної за допомогою зразкового лічильника;

з) зробити висновки [5-31].

Таблиця 4.1 Результати досліджень

Режим насосу	Зразковий лічильник			Лічильник 1, що повіряється				Лічильник 2, що повіряється			
	Покази	$V, \text{ м}^3$	$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	Покази	$V, \text{ м}^3$	$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	$\gamma, \%$	Покази	$V, \text{ м}^3$	$Q, \text{ м}^3/\text{год}$	$\gamma, \%$
0											
1											
2											
3											

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

- мета роботи;
- короткий опис роботи стенду та його елементів;
- завдання на виконання досліджень;
- гідравлічна схема стенду;
- результати вимірювань;
- обробка результатів вимірювання;
- графічні залежності;
- аналіз отриманих результатів та висновки.

Контрольні запитання:

- 1) Принцип роботи стенду.
- 2) Принцип роботи лічильників.
- 3) Складові елементи стенду.
- 4) Як слід правильно обирати лічильник: за витратою або за діаметром трубопроводу, на який він встановлюється?
- 5) За допомогою яких приладів можна дізнатись обсяг холодного й/або гарячого водопостачання на відстані? Яким чином це відбувається?

4.2 Лабораторна робота № 2

Тема роботи: Гідравлічні розрахунки системи постачання теплової енергії

Мета роботи: Ознайомитись з особливостями роботи лабораторно-навчального стенду фірми “Аква Україна”, як системи постачання; розглянути основні прилади та пристрої стенду; виконати гідравлічні розрахунки.

Теоретичні відомості

Теплофізичні властивості середовища, що транспортується: густина і в'язкість – які визначаються при робочій температурі і тиску з табл. 4.2 і рис. 4.1.

Таблиця 4.2. Густина води, залежно від температури

Речовина	Густина, кг/м ³							
$t, ^\circ\text{C}$	-20	0	20	40	60	80	100	120
Вода		1000	998	992	983	972	958	943

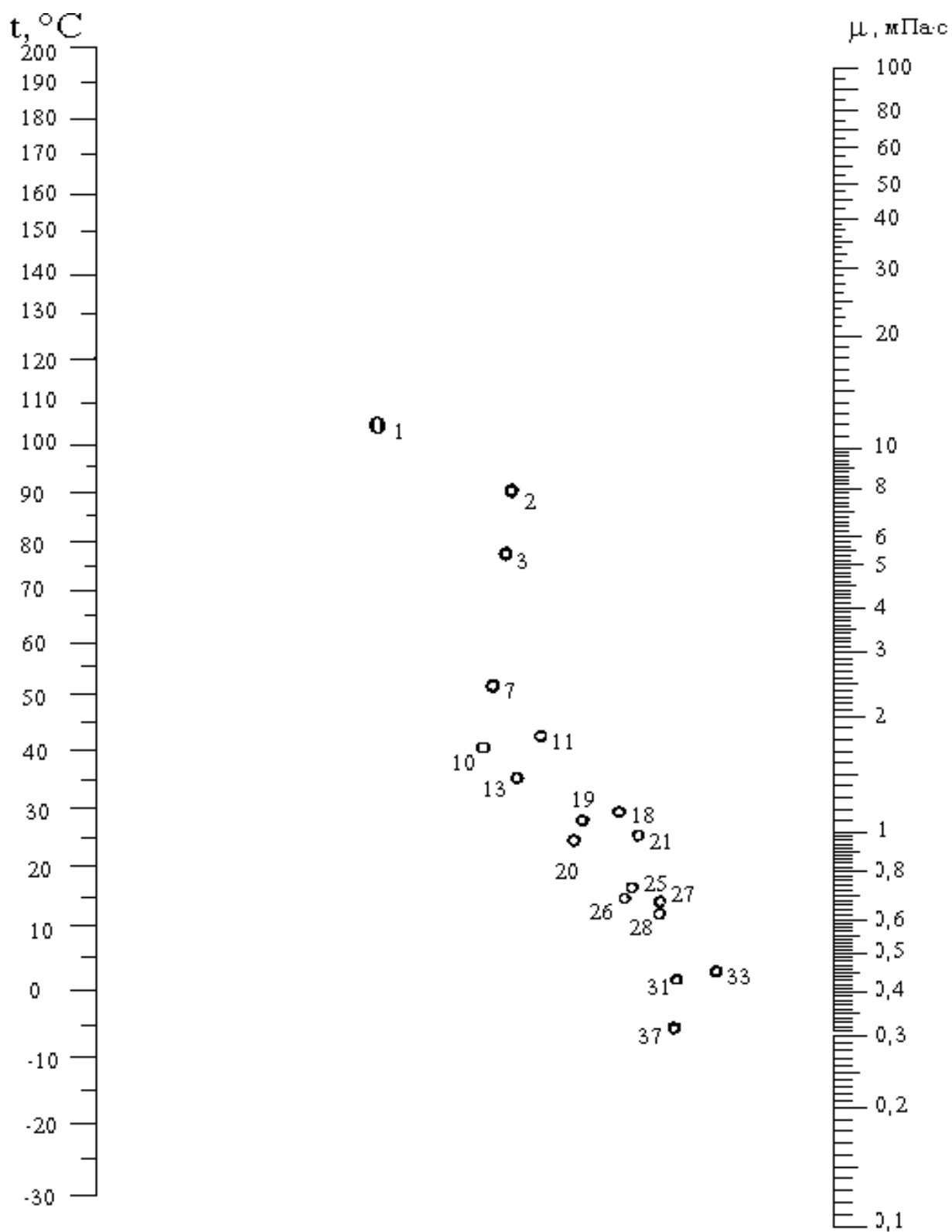


Рис.4.1. Номограма для визначення динамічного коефіцієнту в'язкості води за різних температур

Діаметр трубопроводу d визначається за рівнянням витрати (4.2):

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_{сеп}}} \quad (4.2)$$

Характер руху рідини (ламінальний чи турбулентний) залежить від витрати (Q), середньої швидкості вимірюваного потоку ($V_{сеп}$) та діаметру (d) труби. Перехід від одного режиму руху до іншого визначається за критерієм Рейнольдса, що обчислюється за виразом (4.3):

$$Re = \frac{V_{сеп} \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (4.3)$$

де ρ - густина вимірюваного середовища, μ – в'язкість вимірюваного середовища.

Розрахунок гідравлічного опору трубопроводів

При плинні реальної рідини (або газу) по трубі або каналу відбувається втрата тиску, яка складається з опору тертя об стінки і місцевих опорів, що виникають при зміні напрямку або швидкості потоку. Втрата тиску у прямих трубах круглого перетину для нестискуваної рідини, H/m^2 обчислюється рівнянням:

$$\Delta p = \lambda \cdot \left(\frac{L}{d} \right) \cdot \left(\frac{V_{сеп}^2 \cdot \rho}{2} \right), \quad (4.4)$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного опору тертя; L - довжина трубопроводу, м.

Коефіцієнт гідравлічного опору тертя є функцією $\lambda = f\left(Re, \frac{k}{d}\right)$, де k - еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні труби (табл. 4.3).

В області ламінарного режиму течії ($Re < 2300$) коефіцієнт гідравлічного опору розраховують по формулі Пуазейля:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (4.5)$$

Таблиця 4.3 Еквівалентна шорсткість труб

№ п/п	Вигляд і стан внутрішньої поверхні труб	Шорсткість k , мм
1	Безшовні сталеві труби:	
1а	– нові	0,02 .. 0,1
1б	– очищені після багатьох років експлуатації	0,04
1в	– газопроводи після одного року експлуатації	0,12
1г	– нафтопроводи для середніх умов експлуатації	0,2
1д	– повітропроводи поршневих і турбокомпресорів	0,8
1е	– водопровідні труби, що знаходяться в експлуатації	1,2 .. 1,5
2	Сталеві зварні труби:	
2а	– нові	0,04 .. 0,1
2б	– що були в експлуатації при рівномірній корозії	0,15
2в	– магістральні газопроводи після багатьох років експлуатації	0,5 .. 1,1
3	Трубопроводи теплових мереж:	
3а	– паропроводи	0,2
3б	– Конденсатопроводи	0,1
3в	– водяна тепломережа	0,5
3г	– мережа гарячого водопостачання	1,0
4	Чавунні труби:	
4а	– нові	0,25 .. 1,0
4б	– водопровідні, такі, що знаходяться в експлуатації	1,4
4в	– що були в експлуатації, з відкладеннями	1,0 .. 1,5
4г	– із значними відкладеннями	3,0
5	Алюмінієві технічно гладкі труби	0,015 .. 0,06
6	Бетонні труби :	
6а	– хороша поверхня з тією, що затерла	0,3 .. 0,8
6б	– груба (шорстка) поверхня	3,0 .. 9,0
7	Нафтопроводи за середніх умов експлуатації	0,2
8	Чисті суцільнотягнуті труби з латуні, міді і свинцю; скляні труби	0,0015 .. 0,01
9	Поліетиленові труби	0,02 .. 0,04
10	Листова сталь	0,1 .. 0,15

в області турбулентного режиму течії при $Re \geq Re' = 120 \left(\frac{d}{k} \right)^{1,125}$ і $k > 0$ - по

формулі Прандтля-Никурадзе $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \cdot \lg \left(\frac{k}{d} \right)$.

В області змішаного режиму течії при $2300 \leq Re \leq 4000$ на підставі дослідних даних, отриманих Г.А. Муріним, виведено рівняння

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1,781 \cdot \lg \left[\frac{6,35}{Re} + 0,11 \cdot Re^{0,112} \left(\frac{k}{d} \right)^{1,23} \right]. \quad (4.6)$$

Вплив зварних стиків на гідравлічний опір трубопроводу враховують введенням додаткового коефіцієнта тертя у вигляді

$$\lambda_{CT} = \frac{\xi_{CT} \cdot N \cdot d}{L}, \quad (4.7)$$

де λ_{CT} - коефіцієнт гідравлічного опору зварного стику, визначається з рівняння $\xi_{CT} = K \cdot \xi_0$, де $K = \frac{0,237 \cdot l_{CT}^{0,6}}{d^{0,35}}$, $\xi_0 = \frac{0,0061}{d^{1,35}}$; N - число стиків на розрахунковій ділянці; l_{CT} - відстань між стиками, м.

Розрахунок місцевих гідравлічних опорів [32-45]

У трубопровідних системах технологічних і енергетичних установок на долю місцевих гідравлічних опорів може доводитися до 50 % від загального гідравлічного опору системи [32-45].

Втрати тиску у місцевих гідравлічних опорах Δp_m при постійній швидкості і густини потоку складають:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \sum_i \xi_i \cdot \rho \cdot V_{cee}^2,$$

де ξ_i – коефіцієнт i -го місцевого гідравлічного опору. Орієнтовні значення коефіцієнтів місцевих гідравлічних опорів наведені у табл. 4.4.

Відповідно втрата натиску на всмоктуючому і нагнітаючому трубопроводах, Па:

$$\Delta p = \Delta p_{TP} + \Delta p_M, \quad (4.8)$$

Гідравлічний опір у всмоктуючому і нагнітаючому трубопроводах

складе:

$$h_{II} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}.$$

Таблиця 4.4 Коефіцієнти місцевих гідравлічних опорів

№ п/	Місцевий гідравлічний опір	Орієнтовне значення коефіцієнта, ξ
1	2	3
1	Вхід в трубу з ємкості	0,5
2	Раптове звуження (конфузор) з діаметру d на діаметр d_{min}	$0,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{min}}{d} \right)^2 \right]$
3	Раптове розширення (дифузор) з діаметру d на діаметр d_{max}	$0,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{d_{max}} \right)^2 \right]$
4	Діафрагма в прямій трубі діаметром d ; d_0 - діаметр отвору в діафрагмі:	
	$dd^{-1} = 0,3/0,4/0,5/0,6/0,8$	300/86/30/12/0,5
5	Дифузор при переході з діаметру d_0 на діаметр d при його довжині L з кутом розширення; $d > d_0$	0,25
6	Конфузор довжиною L і з кутом звуження; $d < d_0$	0,1
7	Відведення крутозігнуті і плавні при куті повороту і радіусом повороту R , у тому числі:	
	– відведення при куті повороту 90°	$0,42 / (\sqrt{R/d})$
	– відведення стандартні при $R/d = 1,5$ і кутом повороту 90°	0,34
8	Відведення сталеві секційні	до 0,4
9	Коліно з гострою кромкою і кутом повороту 90° :	
	– при однакових діаметрах без ніші	1,65
	– при однакових діаметрах з нішею	2,0

Продовження табл.4.4

1	2	3
	– при переході на менший діаметр без ніші	2,8
	– при переході на менший діаметр з нішею	3,5
10	Z-подібне коліно (з двох колін і кутом повороту потоку у коліні на 30^0)	0,32
11	Трійник :	
	– прохід	0,35
	– бічне відгалуження	1,5
	– при симетричному злитті потоків	2
	– при симетричному розділенні потоку	2,5
12	Хрестовина:	
	– бічне відгалуження	3,0
	– прохід	2,0
13	Вентиль при повному відкритті :	
	– стандартний	4 .. 6
	– штампований	7,8
	– кутовий	2,3
	– прямоточний	1,3
14	Клапан зворотний :	
	– поворотний	2,0
	– підйомний	8,0
15	Кран	3,0
16	Компенсатор:	
	– лінзовий	0,3
	– сальниковий	0,5
	– П - подібний	2,0
	– хвилястий $d = 0,1 \dots 0,3$ м	0,4
	– хвилястий $d = 0,3 \dots 0,5$ м	0,3
	– більш ніж 0,5 м	0,02
17	Вихід із труби в ємність:	
	– за турбулентного потоку	1,0
	– за ламинарного потоку	2,0

Порядок виконання роботи:

- 1) ознайомитись з конструкцією стенду;
- 2) ознайомитись з основними приладами та запірною арматурою. Провести детальний аналіз їх технічних характеристик та особливостей конструкції;
- 3) визначити за технічними характеристиками, які з приладів мають найбільший вплив на роботу стенду;
- 4) провести основні заміри ділянок стенду та зробити його схему;
- 5) встановити температуру 20°C за допомогою магазинів опору, відповідно до табл. 3.10;
- 6) з дозволу викладача ввімкнути стенд;
- 7) провести виміри основних величин при роботі стенду на трьох витратах, що задаються насосом та записати дані до таблиці 4.5;
- 8) розрахувати втрату тиску на вказаних ділянках(задає викладач);
- 9) провести гідравлічний розрахунок стенду;
- 10) оформити звіт з лабораторної роботи.

Таблиця 4.5 Результати досліджень

Режим насосу	$Q_1, \text{м}^3/\text{год}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{год}$	$Q_3, \text{м}^3/\text{год}$	$w_1, \text{м/с}$	$w_2, \text{м/с}$	$w_3, \text{м/с}$	$\Delta P, \text{Па}$
1							
2							
3							

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи:

- мета роботи;
- гідравлічна схема стенду;
- короткий опис роботи стенду та його елементів;

- завдання досліджень;
- результати вимірювань;
- обробка результатів вимірювання;
- графічні залежності;
- аналіз отриманих результатів та висновки.

Контрольні запитання:

- 1) Що таке місцеві гідравлічні опори та які вони бувають?
- 2) На яких ділянках стенду та на яких приладах будуть найбільші втрати напору?
- 3) Поясніть яким чином та за якими параметрами проводяться гідравлічні розрахунки.
- 4) Яких довжин прямих ділянок слід дотримуватися при встановленні лічильників (до і після них)?
- 5) Яку арматуру передбачено встановлювати при встановленні лічильників?

4.3 Лабораторна робота №3

Тема роботи: Вимірювання витрати та кількості теплової енергії

Мета роботи: Ознайомитись з основними конструктивними параметрами теплолічильника та з особливостями його роботи; вивчити та опанувати основні методи вимірювання витрати та кількості теплової енергії; набути практичних навиків вимірювання витрати та кількості теплової енергії; набути практичних навиків проведення експериментальних досліджень приладів вимірювання витрати та кількості теплової енергії.

Теоретичні відомості

Загальна постановка проблеми. Системи обліку тепла є необхідними та важливими, як для споживачів тепла, так і його постачальників. Першорядним критерієм якості систем теплопостачання є відсутність температурного дискомфорту в приміщенні та постійна наявність гарячої води з певною температурою в необхідному об'ємі. Це досягається за рахунок впровадження автономних котельних, що функціонують за принципом повної автоматизації технологічного процесу. Важливою перевагою децентралізованих систем теплопостачання є можливість місцевого регулювання в системах квартирної опалювання і гарячого водопостачання. Проте експлуатація джерела теплоти і всього комплексу допоміжного устаткування квартирної системи теплопостачання мешканцями не завжди дає можливість повною мірою використовувати цю перевагу. Останні дослідження показали, що існує необхідність контролю втрати тепла в кожній квартирі, щоб не привертати ремонтно-експлуатаційну організацію для обслуговування джерел теплопостачання, облаштувати квартири ультразвуковими теплотічильниками, для оперативного стеження за втратами тепла в будівлі.

Розв'язання поставленої задачі і результати досліджень. Найбільш відповідним є простий теплотічильник, який на сьогоднішній день є пристроєм, що вимірює витрату теплоносія та температуру на вході і виході об'єкту теплопостачання. (рис.4.2).

Кількість теплоти, підведеної до тіла або відведеної від нього, можна визначити за відомими значеннями його маси, питомої теплоємності та за зміною температури. У теплотічильнику значення різниці ентальпії у прямому і зворотному потоках інтегрується за часом.

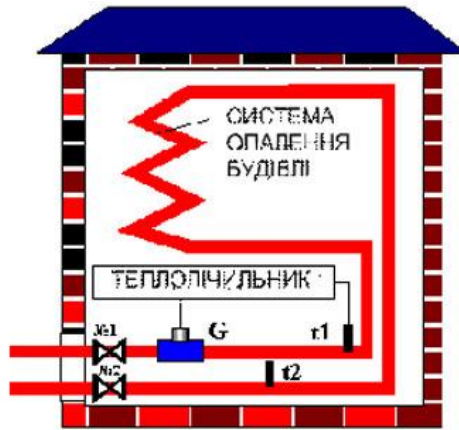


Рис. 4.2. Система опалення будівлі

Рівняння для його роботи має вигляд:

$$G = \int_{t_0}^{t_1} q_m \Delta h dt , \quad (4.9)$$

де G – кількість теплоти, яку виділено або поглинуто; q_m – масова витрата теплоносія, що протікає крізь теплолічильник; Δh – різниця значень питомої ентальпії теплоносія у прямому і зворотному потоках; t – тривалість часу вимірювання.

Якщо прилад визначає об'єм, а не масу, рівняння (4.9) набуває такого вигляду:

$$G = \int_{V_0}^{V_1} k \Delta T dV , \quad (4.10)$$

де V – об'єм рідини, що протекла; k – тепловий коефіцієнт, що є функцією властивостей теплоносія за відповідних значеннями температури і тиску; ΔT – різниця температур теплоносія у прямому і зворотному потоках.

Для визначення кількості теплоти, що виділяється в теплообмінному контурі, теплолічильники мають враховувати тип теплоносія через тепловий коефіцієнт k , який є функцією фізичних величин тиску p , температур у прямому T_{ex} та зворотному $T_{вих}$ потоках і визначається для води за рівнянням:

$$k(p, T_{\text{вх}}, T_{\text{вих}}) = \frac{1}{V} \frac{h_{\text{вх}} - h_{\text{вих}}}{T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}}}, \quad (4.11)$$

де V – питомий об'єм; $h_{\text{вх}}, h_{\text{вих}}$ – питома ентальпія у прямому та зворотному потоках відповідно (табличне значення, залежить від температури).

Похибка вимірювання витрати тепла залежить від похибки визначення температури та об'єму та об'ємної витрати теплоносія, які залежать від точності первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків температури і витратоміра теплоносія). Також з точністю визначення параметрів теплоносія безпосереднім чином зв'язані метрологічні характеристики вхідних масштабуючих підсилювачів, зразкових резисторів, параметрів АЦП. Свою частку похибки вносить і обчислювальна частина. Обмеження по точності математичних операцій у кінцевому пристрої і не зовсім коректні алгоритми можуть цілком звести нанівець навіть ідеальну вхідну частину теплолічильника [46-50].

Порядок виконання роботи:

- а) ознайомитись з принципом дії та конструкцією тепловодолічильника;
- б) записати початкові покази лічильників;
- в) ввімкнути стенд;
- г) провести вимірювання для п'яти режимів швидкостей насоса, дані записати до табл. 4.6;
- д) зняти показання величини теплоти з обчислювача;
- е) розрахувати величину теплоти по даним лічильника з візуальним показчиком;
- ж) порівняти отримані результати;
- з) зробити висновки по роботі.

Таблиця 4.6 Результати досліджень

Режим насоса	$T_{1вх},$ $^{\circ}C$	$T_{1вих},$ $^{\circ}C$	$V_1,$ $м^3$	$V_2,$ $м^3$	$V_3,$ $м^3$	$t,$ $с$	$G,$ $Gcal$	$G_{роз},$ $Gcal$
Початкові показання	-	-						
1	70	25						
	80	30						
	90	35						
2	70	25						
	80	30						
	90	35						
3	70	25						
	80	30						
	90	35						

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи:

- мета роботи;
- коротка характеристика приладів та елементів стенду і допоміжного обладнання;
- завдання;
- робоча схема;
- результати вимірювань;
- обробка результатів вимірювання;
- висновки.

Контрольні запитання

1. Яке призначення теплолічильника?
2. Розкажіть про будову теплолічильника.
3. В чому полягає робота лічильника?

4. Які характеристики потоку можна отримати на обчислювачі?
5. Яким чином обчислюється кількість теплоти у системі?
6. Як визначається похибка лічильників?

4.4 Лабораторна робота №4

Тема роботи: Моделювання роботи системи тепlopостачання з використанням пакетів віртуального моделювання

Мета роботи: Ознайомитися з будовою, принципом дії, технічними характеристиками та інструкціями по експлуатації приладів та систем, які є складовими елементами стенду; набути практичних навичок моделювання та дослідження гідравлічних систем з використанням сучасних програмних засобів.

Теоретичні відомості

Сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє з високою ефективністю досліджувати за допомогою системи CAD/CAE. Однією з таких CAD/CAE систем є програмне середовище ANSYS FLUENT, що створює можливість з високою ймовірністю визначити проекції векторів швидкостей в дискретних точках потоків, як за поперечним перерізом, так і по довжині потоків.

Оцінювання впливу неоднорідності рідиннофазних потоків на точність вимірюваних перетворювачів витрати, враховуючи складність та трудомісткість процесів натурних досліджень, проведено з використанням чисельного моделювання на базі програмного комплексу ANSYS CFX, що реалізує метод кінцевих елементів і дозволяє з високою ймовірністю визначити проекції векторів швидкостей в дискретних точках потоку, як за поперечним перерізом, так і по його протяжності.

Застосування CFD-моделювання дозволяє оптимізувати такі аспекти при розробці, монтажу і обслуговуванні витратомірів: визначення причин неполадок, що виникають при вимірюванні, оцінка величини похибок та ефективності мір по усуненню неполадок, екстраполяція лабораторних експериментів на практичне застосування, оцінка альтернативних конфігурацій перетворювачів та ступеню впливу на ефективність їх роботи параметрів вимірювальної камери, місцевих гідравлічних опор технологічної мережі і межових умов. Це особливо актуально для області малих витрат, де вартість вимірювань виходить на одне з перших місць. Також слід зазначити, що в ряді випадків, щоб отримати чітку картину взаємодії вимірюваного середовища з ЧЕ витратоміра поставити натурний експеримент не представляється можливим. Тоді на допомогу і приходить комп'ютерне моделювання, завдяки якому можна проаналізувати метрологічні характеристики певної конструкції витратоміра.

ANSYS CFX – професійний аналітичний програмний комплекс, призначений для вирішення широкого спектру завдань обчислювальної газо- і гідродинаміки. Область застосування застосунку CFX - моделювання багатофазних потоків, хімічної кінетики, горіння, радіаційного теплообміну, рідинно-структурної взаємодії. Програмний комплекс дозволяє вирішувати задачі з рухомою сіткою, можна застосовувати адаптивне сіткове згущення. Основою всієї розрахункової технології ANSYS CFX є обчислювач багатосіткових алгебраїчних моделей. Використовуючи неявну, пов'язану схему вирішення системи лінеаризованих рівнянь, обчислювач забезпечує швидку і стійку збіжність у всіх типах завдань. При цьому час виконання завдання знаходиться в лінійній залежності від обсягу розрахункової сітки.

Переваги ANSYS CFX особливо проявляється при вирішенні великих моделей з багатокомпонентними течіями і складною структурою.

Вирішувач ANSYS CFX мало чутливий до відносних розмірів елементів, тимчасових кроків і релаксаційних факторів. Точність обчислення досягається як за рахунок високої точності на вузол, так і схемою дискретизації другого порядку, встановленої за умовчанням. Ці ж властивості зберігаються при паралельних розрахунках, забезпечуючи відмінні параметри прискорення на багатопроцесорних системах і кластерах робочих станцій.

Для реалізації комп'ютерного моделювання гідродинамічної обстановки в корпусі вимірювального перетворювача витрати слід виконати такі завдання: створити геометричну модель приладу, накласти сітку на створену модель, призначити зони входу і виходу рідини крізь прилад, вибрати гідродинамічну модель вимірюваного середовища, обрати матеріал вимірюваного середовища з необхідними фізичними властивостями, призначити граничні умови на вході, виконати ініціалізацію обчислювального процесу і розпочати сам процес, оцінити отримані результати розподілу основних параметрів, зокрема швидкості, тиску, температури по витратомірній ділянці на предмет дослідження метрологічних характеристик витратоміра, домогтися збігу розрахунку з експериментом, зменшити час розробки.

Можливість застосування CFD-технологій для розрахунку метрологічних параметрів перетворювачів витрати нині тільки вивчається, і практично немає систематичних досліджень впливу моделей турбулентності на коректність передачі структури потоку у вимірювальному трубопроводі і точність розрахунку паспортних характеристик приладів. Не дивлячись на розходження, програми мають схожий принцип роботи [51-59].

Для створення і розрахунку будь-якого завдання рекомендується наступна послідовність дій:

- вибрати розмірність моделі, визначити фізичний розділ і визначити стаціонарність або нестаціонарність процесу;
- визначити робочу область і задати геометрію;
- задати вихідні дані, залежності змінних величин від координат і часу;
- вказати фізичні властивості та початкові умови;
- вказати межові умови;
- задати параметри, побудувати сітку кінцевих елементів;
- визначити параметри блоку рішення, запустити розрахунок;
- налаштувати режим відображення;
- отримати результати .

Змодельовані течії включають в себе стаціонарні і нестаціонарні, стискувані, слабо стискувані і не стискувані потоки рідини і газу. Використання різних моделей турбулентності та адаптивної розрахункової сітки дозволяє моделювати складні рухи рідини, включаючи течії з сильною закруткою, горінням, течії з вільною поверхнею.

Можливості моделювання:

- 3D стаціонарні, нестаціонарні, стискувані, слабостискувані , нестискувані потоки рідини;
- ламінарні чи турбулентні потоки;
- перенесення скалярних величин та їх флуктуацій;
- вільні поверхні;
- межові умови на стінці;
- степеневі і логарифмічні закони для турбулентних течій;
- адіабатичні, ізотермічні процеси, тепловий потік, теплообмін;
- межові умови, що залежать від часу;
- періодичні та пов'язані межові умови.

Порядок виконання роботи:

- а) ознайомитись з конструкцією стенду;
- б) провести заміри розмірів всіх частин стенду (прямі ділянки, коліна, переходи, ділянки на яких встановлені прилади) ;
- в) змодельовати стенд в програмному засобі за різних режимів роботи:
 - при мінімальній витраті - $2,5 \text{ м}^3/\text{год}$ ($0,69 \text{ кг/с}$);
 - при середній витраті - $3,7 \text{ м}^3/\text{год}$ ($1,03 \text{ кг/с}$);
 - при максимальній витраті - $5,5 \text{ м}^3/\text{год}$ ($1,53 \text{ кг/с}$).
- г) дослідити втрати тиску, температури на частинах трубопроводу, навести профілі швидкостей у місцях встановлення лічильників;
- д) побудувати графіки.

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

- мета роботи;
- схема і короткий опис роботи стенду та його складових;
- завдання досліджень;
- результати моделювання;
- графічні залежності за отриманим результатами;
- аналіз отриманих результатів та висновки.

Контрольні запитання

- 1) Які ви знаєте програмні комплекси для моделювання приладів вимірювання витрати?
- 2) Які необхідно знати параметри середовища для моделювання потоків у трубопроводі?
- 3) Як можна охарактеризувати потік?
- 4) Опишіть покроково процес моделювання стенду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества вещества[Текст]: справочник / П. П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.
2. Учет и контроль расхода энергоносителей и тепловой энергии.(Методы и приборы) [Текст] / Под ред. В.С.Кахановича.- М.:Энергия,1980. – 232 с.
3. Гольцман, В.А. Приборы контроля и средства автоматизации тепловых процессов [Текст]:Уч.пос. / В.А. Гольцман – М.:Высш.школа,1980. – 255 с.
4. “Аква Україна” // [Персональна сторінка компанії] / ТОВ. [Київ, 1995-2015]. – Режим доступу: <http://au.ua/>. — Назва з екрану.
5. “СЕМПАЛ” // [Персональна сторінка компанії] / ТОВ. [Київ, 2002-2015]. – Режим доступу: <http://www.sempal.com/>. — Назва з екрану.
6. “Техприлад” // [Персональна сторінка компанії] / Інжинірінгова компанія. [Київ, 1994-2015]. – Режим доступу: <http://www.techprilad.com/>. — Назва з екрану.
7. “Водолій” // [Персональна сторінка компанії] / ТОВ. [Київ, 1996-2015].–Режим доступу:[http: http://www.ve-ltd.com.ua/](http://www.ve-ltd.com.ua/). — Назва з екрану.
8. Тупиченков, А. А. Счетчики жидкости [Текст] / А. А. Тупиченков, О. А. Абдурашитов, Э. С. Мануков. – М.: Изд-во стандартов.–1980. – 152 с.
9. Бошняк, Л. Л. Тахометрические расходомеры [Текст] / Л. Л. Бошняк, Л. Н. Бызов. – Л.: Машиностроение, 1968. – 210 с.
10. Бобровников, Г. Н. Теория и расчет турбинных расходомеров [Текст] / Г. Н. Бобровников, Л. А. Камышев. – М.: Изд-во стандартов, 1978. –128 с.

11. Киясбейли, Л. Ш. Вихревые счетчики-расходомеры [Текст]/ Л. Ш. Киясбейли, М. Е. Перельштейн. – М.: Машиностроение, 1974. –160с.
12. Монахов, В. И. Измерение расхода и количества жидкости, газа и пара [Текст] / В. И. Монахов. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1962. –128с.
13. Приборостроение и средства автоматики [Текст]: справочник в 5 томах; под ред. А. Н. Гаврилова. – М.: Машиностроение, 1964.–Т.1.–754с.
14. Павловский, А. Н. Измерение расхода и количества жидкостей, газа и пара [Текст] /А. Н. Павловский.– М.: Изд-во стандартов, 1967.–416 с.
15. Киясбейли, А. Ш. Частотно-временные ультразвуковые расходомеры и счетчики [Текст] / А. Ш. Киясбейли, А. М. Измаилов, В. М. Гуревич. – М.: Машиностроение, 1984. – 128 с.
16. Шорников, Е. А. Расходомеры и счетики газа, узлы учета[Текст]: справочник/ Е. А. Шорников. – СПб: Политехника, 2003. – 127 с.
17. Киясбейли, А. Ш. Первичные преобразователи систем измерения расхода и количества жидкостей [Текст] / А. Ш. Киясбейли, Л. М. Лифшиц. – М.: Энергия, 1980. – 80 с.
18. Азизов, А. М. Точность измерительных преобразователей [Текст] / А. М. Азизов, А. Н. Гордов – Л.: Энергия, 1975. – 256 с.
19. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики [Текст]: учебн. в 2 т. / А. А. Яблонский. – М.: Высш. школа, 1966.– Т. 2: Динамика. – 411 с.
20. Милосердин, Ю. В. Расчет и конструирование механизмов приборов и устройств [Текст] / Ю. В. Милосердин, Ю. Б. Лакин. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
21. Киясбейли, А. Ш. Вихревые измерительные приборы [Текст] / А. Ш. Киясбейли, М. Е. Перельштейн. – М.: Машиностроение, 1978. –152с.
22. Биргер, Г. И. Ультразвуковые расходомеры [Текст] / Г. И. Биргер, Н. И. Бражников – М.: Металлургия, 1964. – 343 с.

23. Бурдун, Г. Д. Основы метрологии [Текст] / Г. Д. Бурдун, Б. Н. Марков – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 312 с.
24. Браславский, Д. А. Точность измерительных устройств [Текст] / Д. А. Браславский, В. В. Петров. – М.: Машиностроение, 1976. – 312 с.
25. Бирюков, Б. В. Средства испытаний расходомеров [Текст] / Б. В. Бирюков, М. А. Данилов, С. С. Кивилис. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 112 с.
26. Бирюков, Б. В. Точные измерения расхода жидкостей [Текст] / Б. В. Бирюков, М. А. Данилов, С. С. Кивилис. – М.: Энергия, 1977. – 144 с.
27. Румшиский, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Л. З. Румшиский. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
28. Бурдун, Г. Д. Основы метрологи [Текст] / Г. Д. Бурдун, Б. Н. Марков. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 256 с.
29. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 382 с.
30. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1981. – 516 с.
31. Загавура Ф.Я. Витратометрія [Текст] / Ф.Я.Загавура, О.М.Безвесільна –К.:Либідь, 1996. – 184 с.
32. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей [Текст] / Р. Рид, Дж. Т. Праустинц, Шервуд. – Л.: Химия, 1982. – 591 с.
33. Бретшнайдер, С. Свойства газов и жидкостей. Инженерные методы расчета [Текст] / С. Бретшнайдер. – М.: Химия, 1966. – 536 с.
34. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
35. Повх, И. Л. Техническая гидромеханика [Текст] / И. Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1976. – 504 с.

36. Бэтчелор, Дж. Введение в динамику жидкости [Текст] / Дж. Бэтчелор. – М.: Мир, 1973. – 760 с.
37. Кулінченко, В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід [Текст]: підручник / В. Р. Кулінченко. – К.: Фірма «ІНКОС». Центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
38. Рабинович, Е. З. Гидравлика [Текст] / Е. З. Рабинович. – М.: Физматгиз, 1961. – 408 с.
39. Альтшуль, А. Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах [Текст] / А. Д. Альтшуль. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 256 с.
40. Слезкин, Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости [Текст] / Н. А. Слезкин. – М.: Машгиз, 1955. – 458 с.
41. Идельчик, И. Е. Справочное пособие по гидравлическим сопротивлениям [Текст]/И. Е.Идельчик.–М.:Машиностроение,1975. –543 с.
42. Абрамович, Г. Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г. Н. Абрамович – М.: Физматгиз, 1960. – 715 с.
43. Альтшуль, А. Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах [Текст]/А.Д.Альтшуль. –М.–Л.:Госэнергоиздат,1963.–256 с.
44. Большаков, В.А. Гидравлика [Текст]: учеб. / В.А. Большаков, В.Н. Попов. – К.: Вища школа, 1987. – 303 с.
45. Тарг, С. М. Основные задачи теории ламинарных течений [Текст] / С. М. Тарг.– М.–Л.: Гос. изд-во технико-теоретич. лит.,1951 –420 с.
46. Пирков, В. В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення [Текст] / В. В. Пирков. – К.: ІІ ДП «Такі справи», 2003. – 176 с.
47. Тепловые сети [Текст]: СНиП 2.04.07-86. – Введ. 1988–01–01. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 48с.
48. Варгафник, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам

жидкостей и газов [Текст] / Н. Б. Варгафник. – М.: Наука, 1972. – 720.

49. Федоров, В. В. Методы расчета теплофизических свойств газов и жидкостей [Текст] / В. В. Федоров, Ю. Н. Бочаров, Р. Л. Барашков и др. – М.: Химия, 1974. – 248 с.

50. Бошняк, Л. Л. Измерения при теплотехнических исследованиях [Текст] / Л. Л. Бошняк – Л.: Машиностроение, 1974. – 448 с.

51. Гришанова, І.А. Системи CAD/CAE. ANSYS FLUENT [Текст]: підруч. для вузів / І. А. Гришанова, І. В. Коробко.–К.: Дія ЛТД,2012.– 208с.

52. Струтинський, В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки [Текст] : підручник/В.Б.Струтинський.–Житомир: ЖІТІ,2001.– 612с.

53. Белов, И. А. Моделирование турбулентных течений [Текст]: учеб. пособие / И. А. Белов, С. А. Исаев. // Балтийск. гос. тех. ун-т "Военмех". – СПб.: И-во Балтийского гос. тех. ун-та, 2001. – 107 с.

54. Щапов, Н. М. Исследование гидротурбин [Текст] / Н. М. Щапов. – М.: Машгиз, 1959. – 196 с.

55. Длин, А. М. Математическая статистика в технике [Текст] / А.М. Длин. – М.: Гос. из-во Советская наука, 1958. – 466 с.

56. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике [Текст]: пер. с англ./ Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел, 1986. – Т. 2. – 320 с.

57. Реклейтис, Г. Оптимизация в технике [Текст]: пер. с англ. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел.– М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 350 с.

58. Таланчук, П. М. Основы теории и проектирования измерительных приборов [Текст]:учеб. пособ. / П. М. Таланчук, В. Т. Рущенко.–К.: Вища шк.,1989.–454 с.

59. Бирюков, Б. В. Испытания расходомеров [Текст] / Б. В. Бирюков, М. А. Данилов, С. С. Кивилис. – М.: Из-во стандартов, 1987. – 240 с.