

**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 “Водолій”
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 “Водолій” для студентів напряму підготовки 6.051003 “Приладобудування” професійного спрямування “Інформаційні технології в приладобудуванні”// Уклад.: І.В.Коробко, О.О. Драчук, В.А.Коваленко - К.:НТУУ”КПІ”, 2015.-81с.

*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 “Водолій”
для студентів напряму підготовки 6.051003 “Приладобудування”
професійного спрямування “Інформаційні технології в приладобудуванні”

Укладачі:	<i>Коробко Іван Васильович, д.т.н., професор</i> <i>Драчук Олеся Олександрівна, аспірант</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 лабораторних занять.....	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 “ВОДОЛІЙ”.	21
3.1.Теплообчислювач “Combimeter”.....	26
3.2 Електромагнітний витратомір фірми “Raab Karcher”.....	30
3.3.Лічильник “Istameter”.....	32
3.4.Крильчастий лічильник підприємства “Техприлад”.....	33
3.5.Крильчастий одноструменевий лічильник ТАКТ.....	35
3.6. Датчики температури.....	36
3.7.Термоманометр Watts TMAX.....	38
3.8 Лічильник однофазний СО-5000 (Росток).....	40
3.9. Насос WILO Star RS 15/6-130.....	41
3.10. Радіатор (теплообмінник) Warme Kraft.....	42
3.11. Водонагрівач (тен)	44
3.12 Імітатори датчиків температури	45
4 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.....	47
4.1 Лабораторна робота № 1. Оцінювання конструктивних особливостей пристроїв та приладів.....	47

4.2 Лабораторна робота №2. Гідравлічні розрахунки системи постачання теплової енергії.....	58
4.3 Лабораторна робота №3. Вимірювання витрати та кількості теплової енергії.....	66
4.4 Лабораторна робота №4. Моделювання роботи системи теплопостачання з використанням пакетів віртуального моделювання	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76

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 самостійного вдиху.

7. При поновленні у постраждалого самостійного 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 запізень.

3. Слідкувати за зовнішнім виглядом, з'являйтесь 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).

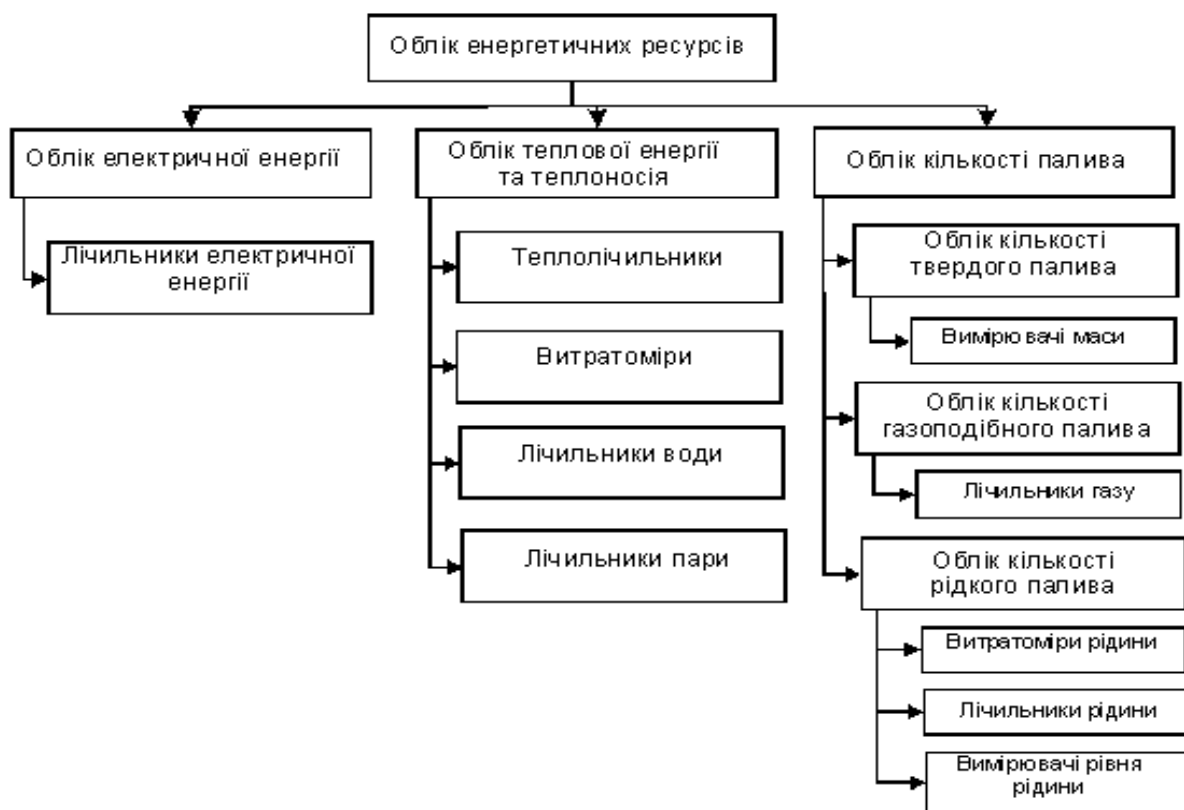


Рис. 2.1. Енергетичні ресурси та прилади для їх обліку

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 показчика 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

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

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 $\Delta_d = \gamma_d(x_k - x_H)$ абсолютної похибки, що припускається:

$$\varepsilon = \varepsilon_{cyst} + \varepsilon_{vun} \leq \Delta_d. \quad (2.16)$$

Припустимо, що

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

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

Тоді в межі

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

Далі припустимо, що

$$\begin{aligned} \varepsilon_a &= k_a \varepsilon_{cyst}, \\ \eta_m x &= k_m \varepsilon_{cyst}, \\ \varepsilon_H(x) &= (1 - k_a - k_m) \varepsilon_{cyst}, \end{aligned} \quad (2.19)$$

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

У результаті

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

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 теплолічильників і самі теплолічильники мають такі класи точності: клас 1, клас 2, клас 3.

Межу допустимої похибки теплолічильників, 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 – виміряне значення; V_C – прийняте дійсне значення.

Межі допустимої відносної похибки теплолічильників – 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 виміряним 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 виміряним 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 “ВОДОЛІЙ”

Експериментально-навчальна проливна установка “Водолій” (рис.3.1) представляє собою мінісистему комерційного обліку енергетичних ресурсів і використовується при виконанні лабораторних робіт [4].

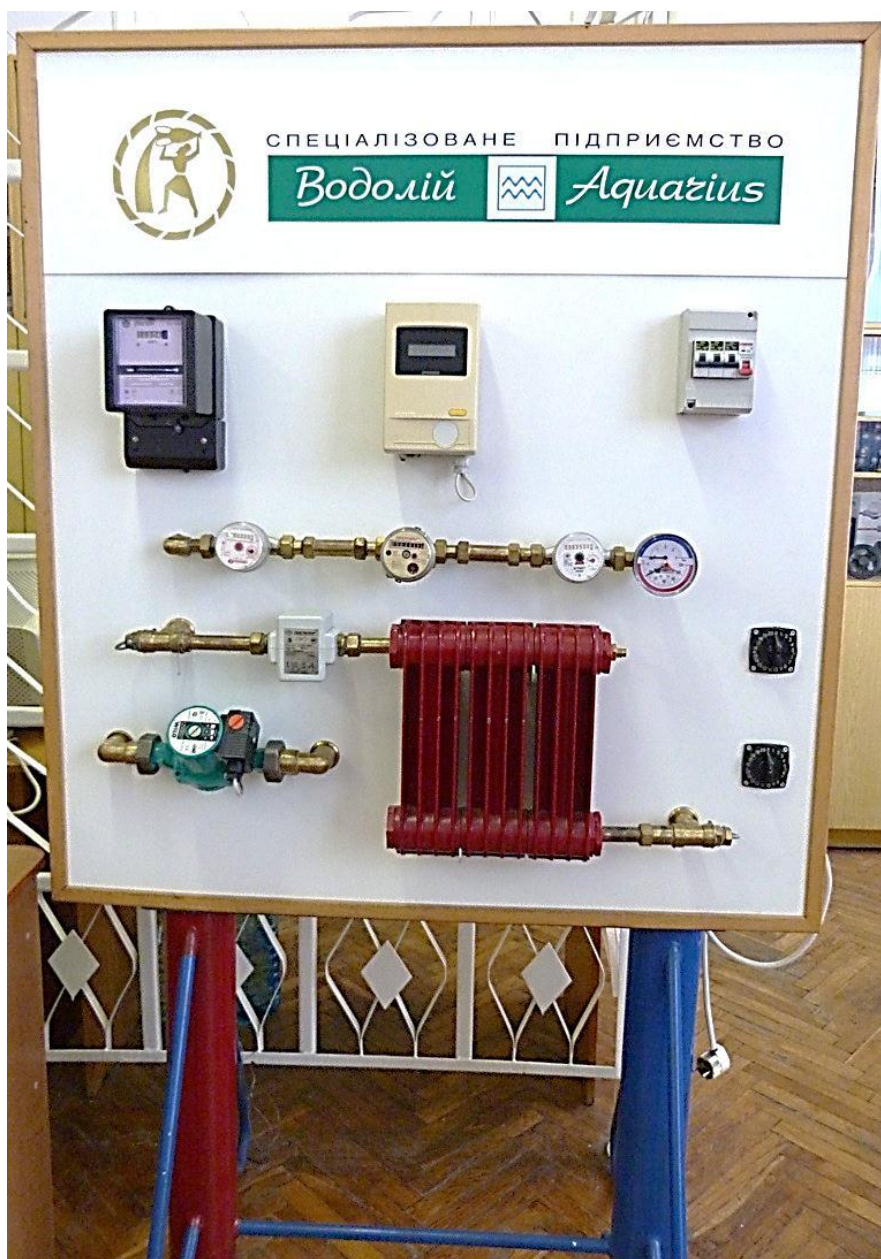


Рис.3.1. Лабораторний стенд “Водолій”

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

- 1 – Електромагнітний витратомір Raab Karcher.
- 2 – Датчик температури у “подаючому” трубопроводі.
- 3 – Датчик температури у “зворотному” трубопроводі.
- 4 – Теплообчислювач “Combimeter”.
- 5 – Крильчатий лічильник гарячої води фірми “Istameter”.
- 6 – Крильчатий лічильник гарячої води фірми “Техприлад”.
- 7 – Крильчатий лічильник гарячої води фірми “Такт”.
- 8 – Комбінований датчик тиску та температур Watts TMAX.
- 9 – Лічильник електричної енергії, однофазний Росток СО-5000.
- 10 – насос WILO Star RS 15/6-130.
- 11 – Радіатор (теплообмінник) Warme Kraft.
- 12 – Бак гарячої води.
- 13 – Бак холодної води.
- 14 – Імітатор датчика температури у “подаючому” трубопроводі.
- 15 – Імітатор датчика температури у “зворотному” трубопроводі.
- 16 – Водонагрівач (тен), що вмонтований у ємність для гарячої води 12.
- 17 – Атоматика ввімкнення живлення стенду.

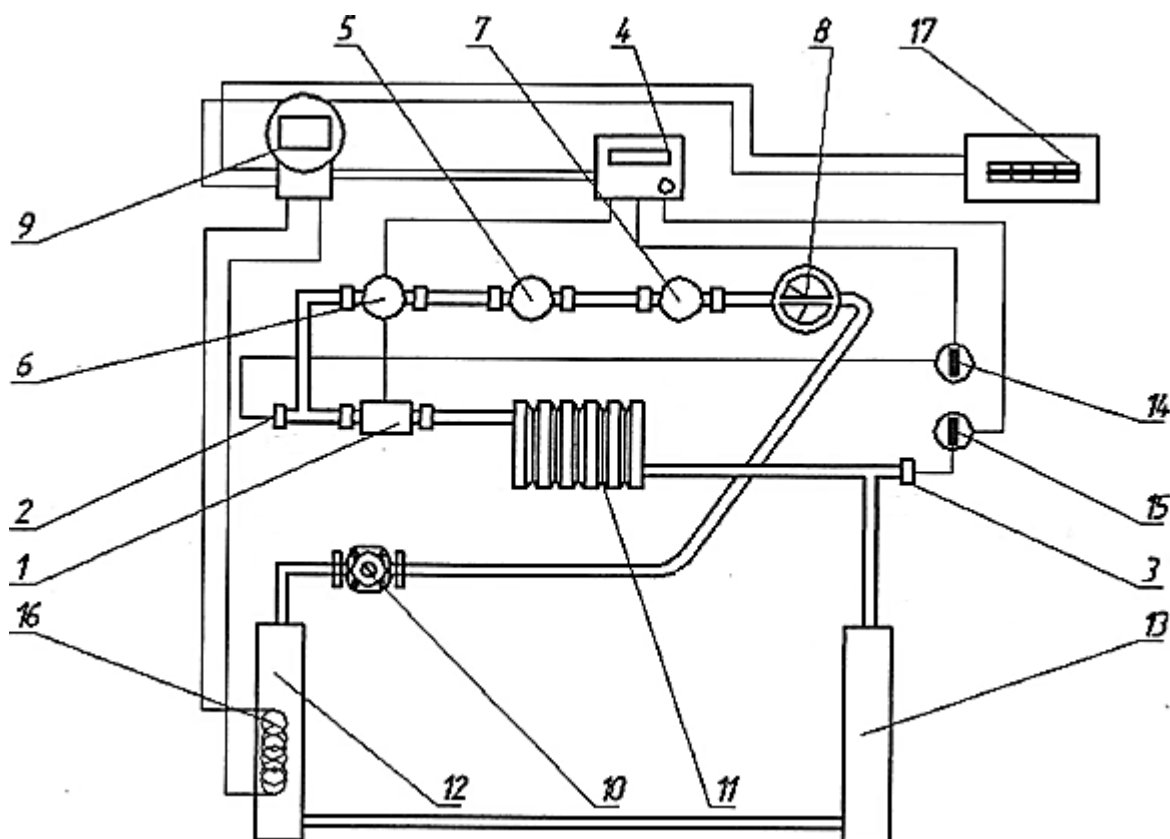


Рис. 3.2. Схема експериментальної установки “Водолій”

Принцип роботи стенду “Водолій”

При ввімкненні електроживлення стенду, в ємності гарячої води 12 починає працювати водонагрівач 16. Тепла вода за допомогою насоса 10 подається у систему і проходить по трубопроводу послідовно крізь комбінований датчик температури і тиску 8, лічильники води 5,6,7. Контроль за температурою води у трубопроводі здійснюється завдяки датчику температур 2, який стоїть перед теплолічильником 1. Далі теплоносій, проходить крізь радіатор-теплообмінник 11 і потрапляє в ємність для холодної води 13. Температура даної води вимірюється датчиком 3. Інформційні сигнали від електромагнітного лічильника та датчиків температури подаються на теплообчислювач 4, де визначаються

параметри потоку та величина теплової енергії. Цикл знову повторюється підігрівом води в баку 12.

Насос 10 є тришвидкісним, а отже задає три різних витрати потоку рідини в системі.

Гідравлічна схема лабораторного стенду виробництва фірми “Водолій” наведена на рис.3.3. Умовні позначення гідравлічної схеми наведені у табл. 3.1.

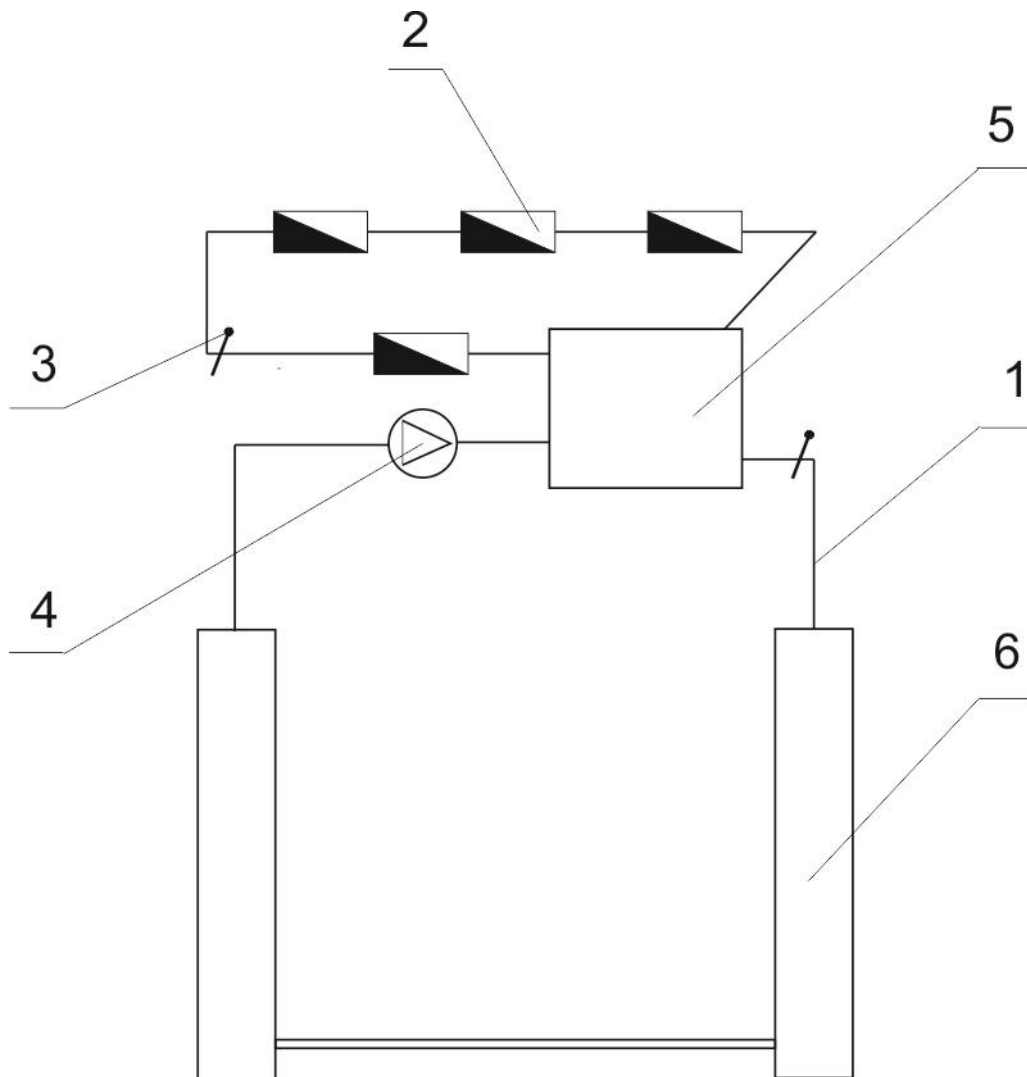


Рис.3.3. Гідравлічна схема лабораторного стенду “Водолій”

Таблиця 3.1. Перелік умовних позначень гідравлічної схеми

Позначення	Найменування
	1 - Трубопровід
	2 - Витратомір
	3 - Датчик теплоносія
	4 - Насос
	5 – Теплообмінник (радіатор)
	6 – Бак для води

Опис можливих режимів роботи стенду

В лабораторному стенді “Водолій” передбачено два режими роботи:

1. Без нагрівання теплоносія
2. З нагріванням теплоносія.

Під час роботи в першому режимі відмикається живлення нагрівального елемента, і ,відповідно, не відбувається нагрівання теплоносія. В цьому режимі різниця показів датчиків температури на вході і виході радіатора буде невеликою. Імітація процесу нагрівання, виконується перемикачами ПТИ-М 14 та 15. Перемикаючи їх, ми змінюємо загальний опір, імітуючи зміну температури в датчиках “подаючого” та “зворотного” трубопроводу.

Під час роботи стенду у режимі нагрівання вмикається електричне живлення тону, що зумовлює нагрівання теплоносія. В цьому режимі різниця показів датчиків температури на вході та виході радіатора буде

суттєвою. Це говорить про те, що теплоносії, нагрітий теном, охолоджується у радіаторі, випромінюючи тепло в навколишнє середовище. Ще під час роботи в даному режимі ми можемо спостерігати роботу електролічильника, що реєструє використану електроенергію для нагрівання теплоносія теном.

Під час виконання роботи є можливість змінювати швидкість потоку регулюючи продуктивність насосу, в кожному з режимів роботи стенду. Регулятор насосу має 3 позиції, що відповідають 3-ом різним швидкостям потоку.

3.1. Теплообчислювач “Combimeter”

Теплолічильник - це комплекс приладів, які враховують спожиту теплову енергію (МВт/год) і параметри теплоносія в системах водяного теплопостачання. Теплолічильник обирають відповідно до розрахункової витрати теплоносія ($\text{м}^3/\text{год}$), діаметру теплотраси, тиску, хімічного складу і температури теплоносія. Призначенням теплообчислювача є облік спожитого тепла.

Теплообчислювач “Combimeter” (рис. 3.4) — це надійний, високоточний прилад обліку тепла, принцип дії якого базується на електромагнітному методі вимірювання витрати електропровідних середовищ.

Інформація, що надає теплообчислювач користувачу відображається на дисплеї. Всі дані згруповані в чотири цикли, кожен з яких може відображати до 30 екранів з даними. Діапазон витрати: $0,015\text{-}180 \text{ м}^3/\text{год}$.



Рис.3.4.Теплообчислювач “Combimeter”

Теплообчислювач “Combimeter” включає в собі електронний обчислювальний блок, до якого можна приєднувати різні датчики та витратоміри. Залежно від потреб користувача є можливість підбирати необхідне для кожного конкретного випадку обладнання. Два вимірюваних контури опалення дозволяють лічильнику контролювати енергоспоживання 2-х житлових будинків або інших об'єктів. Один електронний блок контролює все енергоспоживання житлового будинку, тому як до процесора можна під'єднати загальнобудинкові лічильники гарячої та холодної води з імпульсним виходом. Додатково контролювати працездатність системи дозволяють датчики тиску, а їх дані наводяться у

роздруківці звітів обчислювального блоку. Таким чином, в одному процесорі поєднуються відразу кілька вимірювальних систем та приладів, які не потребують між собою будь-яких з'єднань або додаткових налаштувань, а у роздрукованому звіті даних можна отримати одразу всю необхідну інформацію по об'єкту.

У процесі обчислення споживання тепла в одному контурі прилад враховує похибки вимірювання обох витратомірів. Завдяки цьому загальна похибка визначення теплової енергії практично зводиться до нуля. При приєднанні витратомірів до обчислювального блоку передбачений запис їх параметрів в його електронну пам'ять шляхом сканування штрих-коду, який останнім часом стандартизований для лічильників, що вироблені в Європі, і відображає їх основні параметри.

Прилад “Combimeter” має такі характеристики:

- типорозміри по витраті ($\text{м}^3/\text{год}$): 1,5; 2,5; 3,5; 6; 10; 15; 25; 40; 60; 80; 120;
- великий діапазон вимірювання потоку;
- модульна конструкція системи введення/виводу даних — додаткові плати аналогового виходу, цифрового (контактного) входу/виходу, плати M-bus та RS232;
- розширена інформативність — 4 програмувальних цикли відображення інформації (основний, максимальні значення, тарифні лічильники, сервісний) з можливістю налаштування послідовності та виду відображуваної інформації.

Особливості монтажу

- а) не потрібні прямі ділянки трубопроводу до і після витратомірів.
- б) можлива установка на вертикальних трубопроводах.
- в) можлива установка витратоміра на подаючому або зворотному трубопроводі.

г) не потрібне налаштування приладу.

Обсяг інформації, що знаходиться в електронному процесорі, досить великий і зберігається в чотирьох областях його пам'яті.

Активізуючи ту чи іншу область зберігання інформації, користувач може витягувати різні дані, серед яких можна виділити такі основні параметри:

- календарні дані (з можливістю вибору часового поясу і корекцією переходу на літній час);

- повне енергоспоживання, MWh/Gcal;

- енергія у “подаючому” і “зворотному” трубопроводах, MWh/ Gcal;

- об'ємна витрата для вихідного та вхідного теплоносія, м³;

- масова витрата для вихідного та вхідного теплоносія, кг;

- поточна потужність, в KW/Gcal;

- різниця масової витрати між “подаючим” і “зворотним” трубопроводами;

- температура води у “подаючому” і “зворотному” трубопроводах, °C;

- різниця температур між “подаючим” і “зворотним” трубопроводами, °C.

- стан підключення датчиків тиску і датчика температури холодної води;

- мінімальний і максимальний тиск для обох датчиків тиску, бар.

Технічні характеристики наведені в табл. 3.2.

Теплообчислювач “Combimeter” має сертифікати ISO 9001 й ISO 14001. Прилад внесений до Реєстру засобів вимірювання в Україні, Росії та Білорусії

Міжповірочний інтервал — 4 роки.

Таблиця 3.2. Технічні характеристики тепло обчислювача “Combimeter”

Параметри	Значення
Можливість вибору одиниць виміру енергії	кВт, МВт, Гдж, Гкал;
Клас захисту	IP54
Діапазон вимірювання температури води	0 - 90 °C
Різниця температур у трубопроводах;	3 - 150 °C
Діапазон витрати:	0,0015-180 м ³ /Г
Масова витрата	0-1999 т/рік
Маса	0 - 999999 т
Тиск	0 - 2,5 МПа
Теплова енергія	0- 999999 Гкал
Похибки:	
— по масі води	±0,5%
— по тиску води	±1%
— по температурі води	±0,2 °C
— по годині	0,1%
Споживана потужність:	3Вт
Напруга живлення:	230 (24)В +10% -15%, 50Гц

3.2 Електромагнітний витратомір фірми “Raab Karcher”

Електромагнітний витратомір фірми “Raab Karcher” (рис. 3.5) призначений для вимірювання обсягів споживання холодної або гарячої (до 90°C) води (в залежності від схеми підключення) у системах в складі теплообчислювача “Combimeter”. Технічні характеристики наведено в табл. 3.3.



Рис.3.5. Електромагнітний витратомір фірми “Raab Karcher”

Таблиця 3.3. Технічні характеристики електромагнітного витратоміра фірми “Raab Karcher” в складі теплोलічильника “Combimeter”

Тип	Витрата, м ³ /год			Енергія		Температура, °C
	Мін.	Ном.	Макс.	Мін, кВт	Макс., кВт	Діапазон
1,5	0,0015	1,50	2,25	1,50	0,20	20-90 мін. ±3 макс. ±110
2,5	0,0025	2,50	3,75	2,50	0,39	
3,5	0,0036	3,50	5,25	3,50	0,047	
5	0,0080	6,00	9,00	6,00	0,80	
15	0,0150	15,00	22,50	15,00	2,00	
25	0,0250	25,00	37,50	25,00	3,30	
40	0,0400	40,00	60,00	40,00	5,30	
60	0,0600	60,00	90,00	60,00	8,00	
80	0,0800	80,00	120,00	80,00	10,70	
120	0,1200	120,00	180,00	120,00	16,00	

3.3. Лічильник “Istameter”

Лічильники призначені для вимірювань об'єму протікаючої крізь них гарячої води у системах гарячого водопостачання. Лічильники можуть застосовуватися для обліку води, в тому числі комерційного, відповідно до чинних правил обліку відпускання і споживання води на промислових об'єктах та об'єктах комунального господарства.

Принцип дії крильчастих лічильників базується на вимірюванні числа обертів крильчатки, що обертається з швидкістю, пропорційною витраті води, яка протікає у трубопроводі.

Конструктивно лічильники виконані по схемі “сухоходу”, коли у воді знаходиться крильчатка. Кінематичний зв'язок між крильчаткою і відліковим механізмом здійснюється шляхом магнітної взаємодії через герметичну перегородку. Опорні частини крильчатки і відлікового механізму оснащені годинниковими каменями, що забезпечує тривалий термін експлуатації і високу надійність приладу.

Водолічильник відноситься до “багатоструєного” класу приладів, коли вода потрапляє на крильчатку крізь отвори в направляючій, в якій знаходиться сама крильчатка. Це підвищує точність вимірювань, а також надійність водоміра. Лічильник крильчастий одноструєневий для гарячої води (рис. 3.6) використовується для вимірювання об'єму гарячої (від 30°C до 90 °C) води за ДСТУ 51232-98, що протікає по трубопроводу в системах водопостачання житлових та комунальних господарств.

Міжповірочний інтервал 4 роки.

Технічні характеристики лічильника наведені в табл. 3.4.

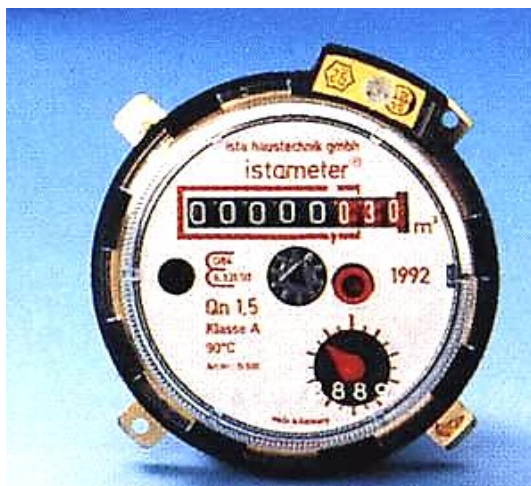


Рис.3.6. Лічильник крильчастий “Istameter”

Таблиця 3.4. Технічні характеристики крильчастого водо лічильника фірми “Istameter”

Тип	IMV 1,5
Номінальна витрата, Q_n , м ³ /год	1
Максимальна витрата Q_{max} , м ³ /год	3
Номінальний тиск, МПа	1,0
Повірочний тиск, МПа	1,6
Номінальна температура, °C	90
Горизонтальний монтаж (кл. В)	
Мінімальна витрата Q_{min} , л/г	30
Перехідна витрата Q_t , л/г	120
Величина імпульсу, л/імп	

3.4. Крильчастий лічильник підприємства “Техприлад” Кий-15

Лічильник крильчастий одноструменевий для гарячої води Кий-15 (рис.3.8) використовується для вимірювання об’єму гарячої (від 0°C до 90 °C) води за ДСТУ 51232-98, що протікає по трубопроводу у системах водопостачання житлових і комунальних господарств.



Рис.3.7. Крильчастий одноструменевий лічильник підприємства
“Техприлад” Кий-15

Технічні характеристики наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Технічні характеристики крильчастого одноструменевого лічильника “Техприлад” Кий-15

Тип	Кий-15	
	Кий-15г	
Номінальний діаметр, мм	DN	15
Номінальна об’ємна витрата, м ³ /год	Q_n	1.5
Максимальна об’ємна витрата, м ³ /год	Q_{max}	3
Перехідна об’ємна витрата, м ³ /год	Q_t	верт. встановлення 0.15
		гор. встановлення 0.12
Мінімальна об’ємна витрата, м ³ /год	Q_{min}	верт. встановлення 0.06
		гор. встановлення 0.03
Поріг чутливості, м ³ /год	-	0.008
Різьба	G	G 3/4
Довжина, мм	L	110
Довжина з приєднувальними штуцерами, мм	I	190
Висота, мм	H	75 (85)
Маса (без штуцерів), кг	-	0,45 (0,49)

3.5. Крильчастий одноструменевий лічильник ТАКТ

Лічильники води ТАКТ (рис. 3.8) призначені для вимірювання об'єму холодної або гарячої води у системах водопостачання, що протікає під тиском не більше 1 МПа та температурі від 5°C до 90°C.



Рис. 3.8. Крильчастий одноструменевий лічильник ТАКТ

Лічильники встановлюються на горизонтальному та вертикальному трубопроводах. Відліковий механізм, для зручності зчитування показань, можна повернути навколо своєї вісі.

Деталі, що працюють у воді, виготовлені з матеріалів, які не погіршують якості питної води й стійкі до її впливу.

Корпус лічильника та монтажних частин виготовлені з латуні, покритої шаром нікелю.

Технічні характеристики лічильника води ТАКТ наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6. Технічні характеристики лічильника ТАКТ

Найменування параметрів	Характеристики	
	Клас А	Клас В
Вимірюване середовище	холодна і гаряча вода по СанПиН 2.1.4.1074-01	
Температура вимірюваного середовища, °С	від +5 до +90	
Температура навколишнього повітря при відносній вологості 80%, °С	від +5 до +50	
Нарізне сполучення, дюймів	3/4	
Витрата води, м ³ /год		
Мінімальна ($Q_{\min}$)	0.06	0.03
Перехідний (Q_t)	0.15	0.12
Номінальний (Q_n)	1.5	1.5
Максимальний ($Q_{\max}$)	3	3
Термін служби лічильника, років	не менше 12	
Міжповірочний інтервал лічильника хол. води, років	5	
Міжповірочний інтервал лічильника гар. води, років	4	

3.6. Датчики температури

Датчики температури Pt100 (рис. 3.9) – це дводрововий комплект з захисними гільзами призначений для вимірювання температур і різниці температур у системах тепlopостачання в складі теплообчислювачів. Комплект складається із двох термopетворювачів, підібраних у парі.

Пристрій і принцип дії Pt100 базується на зміні електричного опору термopетворювачів від температури. Конструкція нерозбірна. Чутливий елемент поміщений у корпус.

Технічні характеристики наведені у табл.3.7- 3.8.



Рис.3.9. Датчики температури Pt100

Таблиця 3.7. Технічні характеристики датчиків температури Pt500

Параметри	Значення
Номінальна статична характеристика за ДСТУ 6651 -94	Pt100
Діапазон вимірюваних температур	0...+160 °C
Клас допуску за ДСТ 6651-94	100П, 500П, Pt100, Pt500, Pt1000
Клас допуску	B
Діапазон вимірюваної різниці температур	від 1 до 150°C
Номінальне W перетворювачів	1.3850
Межа відхилення опору, що допускає, по НСХ, З	$\pm(0,3+0,004t)$
Межа абсолютної похибки, що допускається, при вимірюванні різниці температур, °C	$(0,09 + 0,005\Delta t)$
Схема приєднання	двухпроводна
Номінальний робочий струм, mA	0,5
Показник теплової інерції, с	не більше 15
Мінімальна глибина занурення, мм	32
Габаритні розміри, мм	D = 6, l = 47
Довжина кабелю, м	1,5; 2; 3; 10
Електричний опір 1м кабелю, Ом	не більше 0,05
Середній термін служби	не менш 8 років

Таблиця 3.8. Градувальна характеристика датчика температури Pt100

Опір, Ом										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100,000	100,391	100,781	101,172	101,562	101,953	102,343	102,733	103,123	103,513
10	103,903	104,292	104,682	105,071	105,460	105,849	106,238	106,627	107,016	107,405
20	107,794	108,182	108,570	108,959	109,347	109,735	110,123	110,530	110,898	111,286
30	111,673	112,060	112,447	112,835	113,221	113,608	113,995	114,382	114,768	115,155
40	115,541	115,927	116,315	116,699	117,085	117,470	117,858	118,241	118,627	119,012
50	119,397	119,782	120,167	120,552	120,936	121,321	121,705	122,090	122,474	122,858
60	123,242	123,526	124,009	124,393	124,777	125,160	125,543	125,926	126,309	126,692
70	127,075	127,458	127,840	128,223	128,605	128,987	129,370	129,752	130,133	130,515
80	130,897	131,278	131,660	132,041	132,442	132,803	133,184	133,565	133,946	134,326
90	134,707	135,087	135,468	135,848	136,228	136,608	136,987	137,367	137,747	138,126
100	138,506	138,885	139,264	139,643	140,022	140,400	140,779	141,158	141,536	141,914

Періодичну повірку комплектів термоперетворювачів опору Pt100 здійснюють органи Державної метрологічної служби.

Методика повірки поставляється на вимогу метрологічної служби. Міжповірочний інтервал - 4 роки. Підбирання пар термоперетворювачів робиться при виготовленні.

3.7. Термоманометр Watts TMAX

Термоманометр Watts TMAX (рис. 3.10) аксіального типу. Застосовується для одночасного вимірювання температури і тиску. Використовується у системах опалення та водопостачання. Вимірювальні механізми: трубчаста пружина із мідного сплаву для вимірювання тиску, біметалічна спіраль для вимірювання температури. Термоманометр оснащений візуальним обмежувачем.



Рис. 3.10. Термоманометр Watts TMAX

Автоматичний запірний клапан, що входить у комплект, дозволяє робити заміну термоманометру без зливу системи. При монтажі термоманометру, запірний клапан відкривається так, що теплоносій, що проникає в пружинний механізм вимірювання тиску, обмиває також і температурний датчик.

Температурний режим, що рекомендується для постійної експлуатації: від -10°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Технічні характеристики термоманометра Watts TMAX наведені в табл.3.9.

Таблиця 3.9. Основні технічні дані термоманометру Watts TMAX

Параметри	Значення
Діапазон виміру тиску, 10^{-1} МПа	0 – 2.5/4/6
Діапазон виміру температури, $^{\circ}\text{C}$	0 - 120
Клас точності	2.5
Робоче середовище	Вода та інші неагресивні рідини
Температура зовнішнього середовища	$-40^{\circ}\dots+50^{\circ}\text{C}$
Вологість зовнішнього середовища	< 95%
Ступінь захисту корпусу	IP 50
Діаметр корпусу	80 мм
Приєднання	радіальне (R) та тильне (T)

3.8 Лічильник однофазний СО-5000 (Росток)

Однофазний лічильник СО-5000 активної енергії індукційний прямого вмикання показаний на рис 3.11. Технічні характеристики наведені в табл. 3.10.



Рис.3.11. Лічильник однофазний Росток СО-5000

Таблиця 3.10. Технічні характеристики лічильника СО-5000(Росток)

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	220
Номінальний струм, А	10
Діапазон робочого струму, А	Від 0,5 до 40
Клас точності	2,0
Діапазон робочих умов	Від -30° до +55°С
Габаритні розміри, мм	217x129x118
Вага, кг	1.6
Гарантійний строк операції, міс	24
Середній термін служби не менше, рік	30
Міжповірочний інтервал, рік	16

3.9. Насос WILO Star RS 15/6-130

Насос – це гідравлічна машина, що служить для переміщення і створення напору рідин всіх видів, механічної суміші рідини з твердими і колоїдними речовинами або зріджених газів.

Циркуляційний насос WILO (рис. 3.12) призначений для перекачування теплоносія в побутових опалювальних системах, системах гарячого водопостачання та кондиціонування.

Для централізованих і місцевих систем опалення використовується тришвидкісний циркуляційний насос із мокрим ротором типу Star RS, найчастіше – насос WILO Star RS 15/6-130 використовується в одно-двотрубних системах опалення, а також у змішувальних контурах більших систем. Технічні характеристики наведені в табл.3.11.



Рис. 3.12.Насос WILO Star RS 15/6-130

Таблиця 3.11. Технічні характеристики насосу WILO Star RS 15/6-130

Параметр	Значення
Тип насоса	циркуляційний з мокрим ротором
Галузь застосування	опалення
Напір, м	2,5-8
Витрата, м ³ /год	2,5-6
Робоче середовище	– вода для систем опалення (по VDI 2035); – технічна вода; – охолоджуюча/холодна вода.
Монтажна довжина, мм	130
Робочий тиск, МПа	1,0
Вага, кг	2.4
Приєднання	Rp1
Споживаюча потужність, Вт	18-84
Підключення до мережі	220В / 50Гц

Матеріали:

- корпус насосу: сірий чавун (EN-GJL-200);
- робоче колесо: пластик (PP-40% GF);
- вал: неіржавіюча сталь (X46 Cr13);
- підшипник: металонасичений.

3.10. Радіатор (теплообмінник) Warme Kraft

Радіатори - (від лат. radio – “випромінювач”) прилад, що використовується в опалювальних системах житлових і виробничих приміщень. Можна виділити декілька основних видів радіаторів. Алюмінієві, біметалічні і чавунні радіатори, які зараз достатньо сильно поширені, але вже дуже рідко встановлюються через низьку тепловіддачу.

Принцип, по якому працює радіатор, достатньо простий - теплоносій, тобто вода, поступає у радіатор і уповільнює свій рух, при цьому охолоджується та передає тепло в приміщення.

Сталеві панельні радіатори призначені для монтажу в закритих системах центрального опалювання з робочим тиском до 1,0 МПа, де в якості теплоносія застосовується вода або водні розчини, з максимально допустимою робочою температурою 120°C. При установці в багатоповерхових будівлях, з відкритою системою, в кінці опалювального сезону необхідно закрити запірну арматуру, встановлену на вході/виході кожного радіатора, - це завадить попаданню повітря у систему.

Радіатор-теплообмінник (рис. 3.13), виготовлений із холоднокатаного сталевого листа високої якості з низьким вмістом карбону. Радіатори протестовані виробником під тиском 1,5МПа, і можуть використовуватись для тиску до 1,1МПа. Максимальна температура нагрівання для Warme Kraft 22 становить 110°C. Гарантія від виробника складає 10 років.



Рис.3.13. Радіатор Warme Kraft

Технічні характеристики радіатора Warme Kraft наведені у табл. 3.12.

Таблиця 3.12. Технічні характеристики радіатора Warme Kraft

Параметри	Значення
Матеріал	Сталь
Кількість секцій	3
Висота, мм	400
Ширина, мм	500
Робочий тиск, МПа	0,9
Вага, кг	10,7
Клас	22
Монтаж	Бічний верхній
Потужність, Вт	723

3.11 Водонагрівач (тен)

Погружні нагрівальні елементи на різьбових фланцях (рис. 3.14), призначені для роботи у рідинах. Залежно від застосування та характеру роботи, підбирається відповідний матеріал захисної трубки (мідь, нікельована мідь, кислотійка сталь – неіржавіюча), а також різьбові фланці.

Базові моделі містять один або три нагрівальних елементи. Також є можливість використання захисного ковпака.

Технічні характеристики наведені в табл.3.13.



Рис.3.14. Заглибний нагрівач на різьбових фланцях

Таблиця 3.13. Технічні характеристики заглибного нагрівача на різьбових фланцях

Параметри	Значення
Тип	3/2 "15K
Робітниче середовище:	вода, масло й інші рідини
Робоча температура:	100° до 300°C
Діаметр, мм	8,5
Електричні параметри, Вт/В	2x1500/230
Довжина L, мм	410
Матеріал труби	Cu/Ni
Кріплення	фланець з різьбленням 3/2"

3.12. Імітатори датчиків температури

Імітатори датчиків температури складаються з перемикача ПТИ-М (рис. 3.15) та дровових опорів (рис. 3.16), приєднаних послідовно до кожної клеми. Перемикачем ПТИ-М, змінюємо загальний опір, імітуючи зміну температури у датчиках “подаючого” та “зворотного”

трубопроводах. При кожному перемиканні температура збільшується на 5°C.



Рис. 3.15. Перемикач ПТИ-М

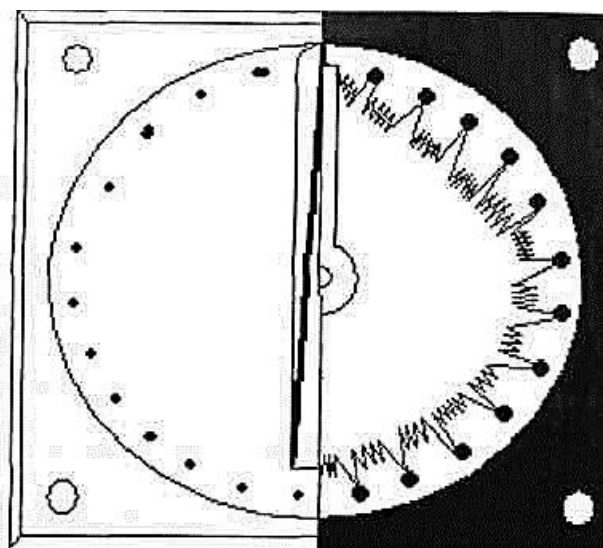


Рис. 3.16. Дротові резистори, приєднані до кожної клеми

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 “Вордолій”; 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 міжпіврочного інтервалу;
- у випадку продажу споживачеві засобів вимірювальної техніки в тому разі коли час, що минув після останньої повірки, перевищує половину міжпіврочного 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 перевіряється, 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;

– *поріг 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.

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;
- б) визначити лічильник, який буде зразковим;
- в) записати початкові покази всіх лічильників.
- г) ввімкнути стенд;
- д) через рівні проміжки часу, зупиняючи насос, записати покази лічильників для трьох витрат, що встановлюються насосом до табл. 4.1;
- е) на підґрунті отриманих даних визначити витрати рідини, зафіксовані у всіх точках зняття показань;
- ж) визначити приведену похибку лічильників, що повіряються, за формулою:

$$\gamma = \frac{Q' - Q}{Q} \cdot 100\%,$$

- з) де Q' - витрата визначена зразковим лічильником, Q - витрата, визначена лічильником, що повіряється;

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

к) Зробити висновки.

Таблиця 4.1.

Режим насосу	Зразковий лічильник	Лічильник 1, що повіряється				Лічильник 2, що повіряється				Лічильник 3, що повіряється			
		Покази	V, м ³	Q, м ³ /год	γ, %	Покази	V, м ³	Q, м ³ /год	γ, %	Покази	V, м ³	Q, м ³ /год	γ, %
Початкові дані													
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) Описати принцип роботи стенду.
- 2) Розказати про складові елементи стенду та можливі режими його роботи.
- 3) Що таке повірка та як вона проводиться?
- 4) Чим відрізняється витратомір від лічильника?
- 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 конструкцією, принципом роботи та складовими частинами лабораторного стенду, як системи теплопостачання; розглянути основні прилади та пристрої стенду; провести гідравлічний розрахунок стенду фірми “Відолій”.

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, °C	-20	0	20	40	60	80	100	120
Вода		1000	998	992	983	972	958	943

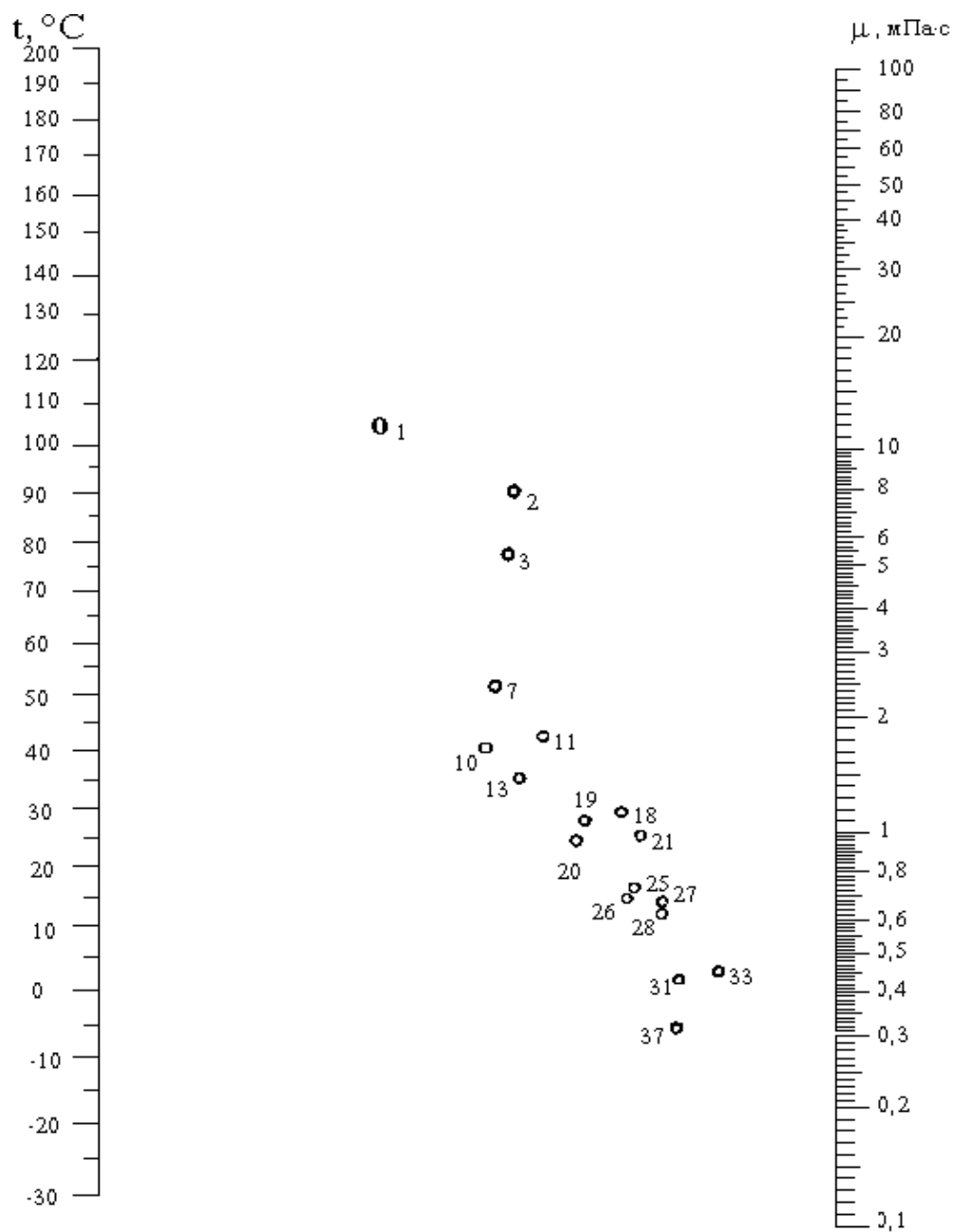


Рис.4.1. Номограма для визначення динамічного коефіцієнту в'язкості води за різних температур

Діаметр трубопроводу d визначається за рівнянням витрати (4.2):

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

Характер руху рідини (ламінарний 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).

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

Продовження табл. 4.3

1	2	3
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 ламінарного режиму течії ($Re < 2300$) коефіцієнт гідравлічного опору розраховують по формулі Пуазейля:

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

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:

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

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

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
	– 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°)	0,32
11	Трійник :	

Продовження табл.4.4

1	2	3
	– 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 ... 0,3 м	0,4
	– хвилястий d = 0,3 .. 0,5 м	0,3
	– більш ніж 0,5 м	0,02
17	Вихід із труби в ємність:	
	– за турбулентного потоку	1,0
	– за ламінарного потоку	2,0

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:

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

Порядок виконання роботи:

- а) ознайомитись з конструкцією стенду;
- б) ознайомитись з основними приладами та запірною арматурою. Провести детальний аналіз їх технічних характеристик та особливостей конструкції;
- в) визначити за технічними характеристиками, які з приладів мають найбільший вплив на роботу стенду;
- г) провести основні заміри ділянок стенду та зробити його схему;
- д) з дозволу викладача ввімкнути стенд;
- е) Провести виміри основних величин при роботі стенду на трьох витратах, що задаються насосом та записати дані до табл. 4.5;

Таблиця 4.5 Результати досліджень

Режим насосу	V ₁ , м ³	V ₂ , м ³	V _{сер} , м ³	Q, м ³ /год	v, м/с	ΔP, Па
Початкові дані						
1						
2						
3						

- ж) розрахувати втрату тиску на вказаних ділянках(задає викладач);
- з) провести гідравлічний розрахунок стенду;
- и) побудувати графічні залежності;
- к) оформити звіт з лабораторної роботи.

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

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

Контрольні запитання:

- 1) Розказати принцип роботи стенду.
- 2) На яких ділянках стенду та на яких приладах будуть найбільші втрати напору?
- 3) Як різні типи запірної арматури впливають на потік та втрату тиску?
- 4) Розкажіть як проводиться гідравлічний розрахунок стенду?
- 5) Яким чином втрати напору на ділянках та кількість приладів впливають на вибір насосу та діаметру трубопроводу для проектування аналогічних систем?

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 тепlopостачання 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 тепlopостачання є можливість місцевого регулювання в системах квартирної опалювання і гарячого водопостачання. Проте експлуатація джерела теплоти і всього комплексу допоміжного устаткування квартирної системи тепlopостачання 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 тепlopостачання, 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 тепlopостачання. (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 теплорічильнику значення різниці ентальпії у прямому і зворотному потоках інтегрується за часом.

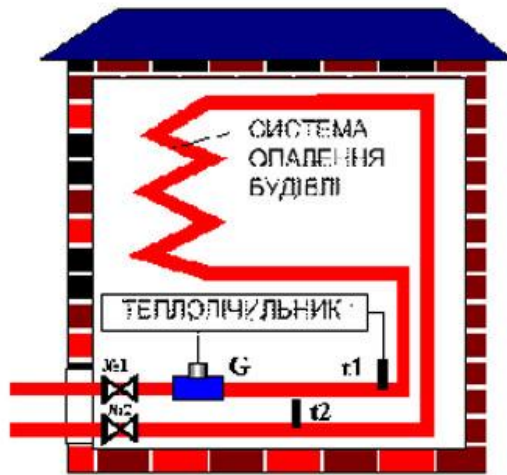


Рис. 4.2. Система опалення будівлі

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 теплорічильник; 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, теплотічильники 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:

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

де V – питомий об'єм; h_{ex} , $h_{вих}$ – 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 теплотічильника [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 трьох режимів швидкості 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	$T_{1вх},$ $^{\circ}C$	$T_{2вих},$ $^{\circ}C$	$V_{1покази},$ $м^3$	$V_{2покази},$ $м^3$	t, c	$G,$ $Gcal$	$G_{роз},$ $Gcal$	$\gamma, \%$
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;
- короткий опис роботи стенду та його елементів;
- завдання дослідження;
- гідравлічна схема стенду ;
- результати вимірювань;
- обробка результатів вимірювання;
- аналіз отриманих результатів та 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 в системі?
6. Як визначається похибка лічильників?

4.4 Лабораторна робота №4

Тема роботи: Моделювання роботи системи теплопостачання 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. “Водолій” // [Персональна сторінка компанії] / ТОВ. [Київ, 1996-2015]. – Режим доступу: <http://www.ve-ltd.com.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. “Аква Україна” // [Персональна сторінка компанії] / ТОВ. [Київ, 1995-2015]. – Режим доступу: <http://au.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. – 128с.

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. – 128 с.
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. Измайлов, В. М. Гуревич. – М.: Машиностроение, 1984. – 128 с.
16. Шорников, Е. А. Расходомеры и счетчики 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. – 152 с.
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. Румшицкий, Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента [Текст] / Л. З. Румшицкий. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
28. Бурдун, Г. Д. Основы метрологии [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.: ІДП «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. – 208 с.
52. Струтинський, В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки [Текст]: підручник / В. Б. Струтинський. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.
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.