

**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 “Техприлад”
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 “Техприлад” для студентів напряму підготовки 6.051003 “Приладобудування” професійного спрямування “Інформаційні технології в приладобудуванні”// Уклад.: І.В.Коробко, А.В. Писарець, В.А.Коваленко - К.:НТУУ”КПІ”, 2015.71с.

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

Укладачі: *Коробко Іван Васильович, д.т.н., професор*
Писарець Анна Валеріївна, к.т.н., доцент
Коваленко Вікторія Анатоліївна, аспірант

Відповідальний
редактор: *Гришанова Ірина Аркадіївна, к.т.н., доцент*

Рецензент: *Гожій Сергій Петрович, д.т.н., професор*

За редакцією укладачів

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ІНСТРУКЦІЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ “ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ”...	5
1.1 Інструкція з протипожежної безпеки.....	6
1.2 Надання першої допомоги потерпілому при нещасних випадках...	7
1.3 Правила поведінки при виконанні лабораторних занять.....	8
1.4 Алгоритм виконання лабораторного заняття	9
2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ТА КІЛЬКОСТІ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ І ВОДИ.....	10
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПРОЛИВНА УСТАНОВКА “ТЕХПРИЛАД”	20
3.1 Лічильники води.....	24
3.2 Теплообчислювач Суперком 01-1.....	28
3.3 Манометр МПЗ-У.....	31
3.4 Циркуляційний насос Wilo Star-RS 25/7.....	32
3.5 Датчики температури Pt500.....	34
4 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.....	37
4.1 Лабораторна робота № 1. Оцінювання конструктивних особливостей пристроїв та приладів.....	37
4.2 Лабораторна робота №2. Гідравлічні розрахунки системи постачання теплової енергії	48
4.3 Лабораторна робота №3. Вимірювання витрати та кількості теплової енергії	57
4.4 Лабораторна робота №4. Моделювання роботи системи теплопостачання з використанням пакетів віртуального моделювання	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

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 запізнь.

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).

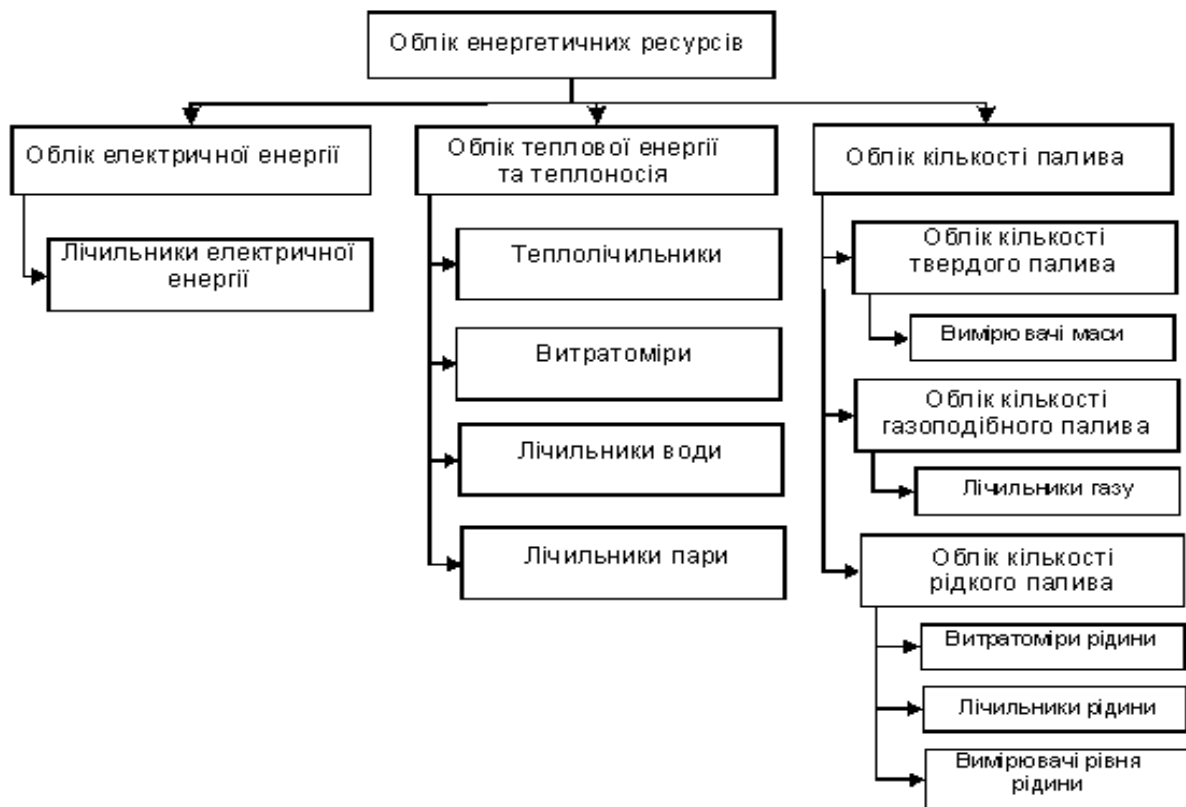


Рис. 2.1. Енергетичні ресурси та прилади для їх обліку

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

с) 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

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

Після інтегрування отримаємо

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

Перший доданок виразу представляє номінальне значення результату вимірювань:

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

Дійсне значення абсолютної похибки:

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

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

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

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

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

що у відносних одиницях складає:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 – вимірне значення; V_C – прийняте дійсне значення.

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

Похибку обчислювача можна оцінити за виразом:

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

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

Похибку пари вимірювальних перетворювачів температури можна визначити за формулою:

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

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

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

Перетворювач витрати:

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

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

Межі допустимої відносної похибки можуть бути такими:

- для загальних теплолічильників: $E_f = \pm(3 + \frac{0,05q_p}{q})$;
- для вимірювальних перетворювачів витрати:
 $E = \pm(2 + \frac{4\Delta\theta_{\min}}{\Delta\theta} + \frac{0,01q_p}{q})$, 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: $E_f = \pm(0,5 + \frac{3\Delta\Theta_{\min}}{\Delta\Theta})$ Клас 2: $E_f = \pm(2 + \frac{0,02q_p}{q})$ але не більше ніж $\pm 5\%$; Клас 3: $E_f = \pm(2 + \frac{0,02q_p}{q})$, але не більше, ніж $\pm 5\%$
Ультразвуковий	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,05\%$	
Вихоровий	$\pm 1,5\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5,5\%$	
Тепловий	$\pm 1\%$ від повної шкали, включаючи нелінійність і відтворність	$\pm 0,8\%$ від показів	$\pm 0,2\%$ від повної шкали	

З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПРОЛИВНА УСТАНОВКА “ТЕХПРИЛАД”

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



Рис. 3.1. Лабораторний стенд “Техприлад”

Експериментальна установка “Техприлад” (рис. 3.2) включає в собі такі елементи:

- 1 – Теплообчислювач Суперком-01-1.
- 2 – Манометр МПЗ-У.
- 3 – Кульковий кран.
- 4 – Лічильник з імпульсним вихідним сигналом JS-NK.

- 5 – Насос Wilo – IP – E.
- 6 – Лічильник з візуальним зніманням показань JS.
- 7 – Фільтр.
- 8 – Кран для встановлення дифманометра.
- 9 – Бак для води..
- 10 – Датчик температури.

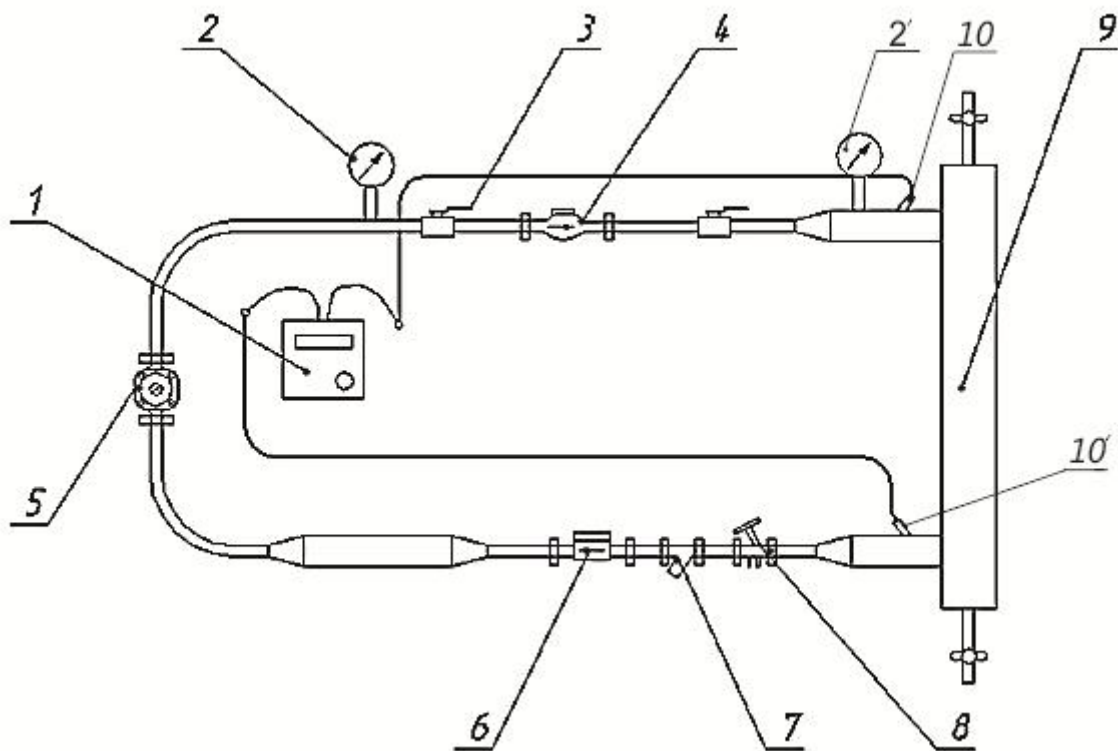


Рис. 3.2. Принципова схема експериментальної установки “Техприлад”

Принцип роботи стенду “Техприлад”

При ввімкненні електроживлення стенду (рис 3.2), вода за допомогою насоса 5 подається у систему й проходить по трубопроводу послідовно крізь кульковий кран 3, лічильник води з імпульсним вихідним сигналом 4 та другий кульковий кран. Далі вода потрапляє у бак, проходить крізь кран для встановлення дифманометра 8, фільтр механічної

очистки 7, лічильник з візуальним зніманням показань 6 і потрапляє на вхід насоса. Падіння тиску на вимірювальній ділянці вимірюється манометрами 2 та 2'. Температура енергоносія у подаючому і зворотному трубопроводах вимірюється датчиками температури 10 та 10' відповідно. Інформація з датчиків температури і лічильника 4 подається на тепло обчислювач 1, де, за встановленим алгоритмом, визначається теплова енергія за певний проміжок часу. Насос 5 є тришвидкісним, а отже, задає три різних витрати потоку рідини у системі.

Гідравлічна схема лабораторного стенду “Техприлад” представлена на рис. 3.3. Умовні позначення гідравлічної схеми наведені в табл. 3.1.

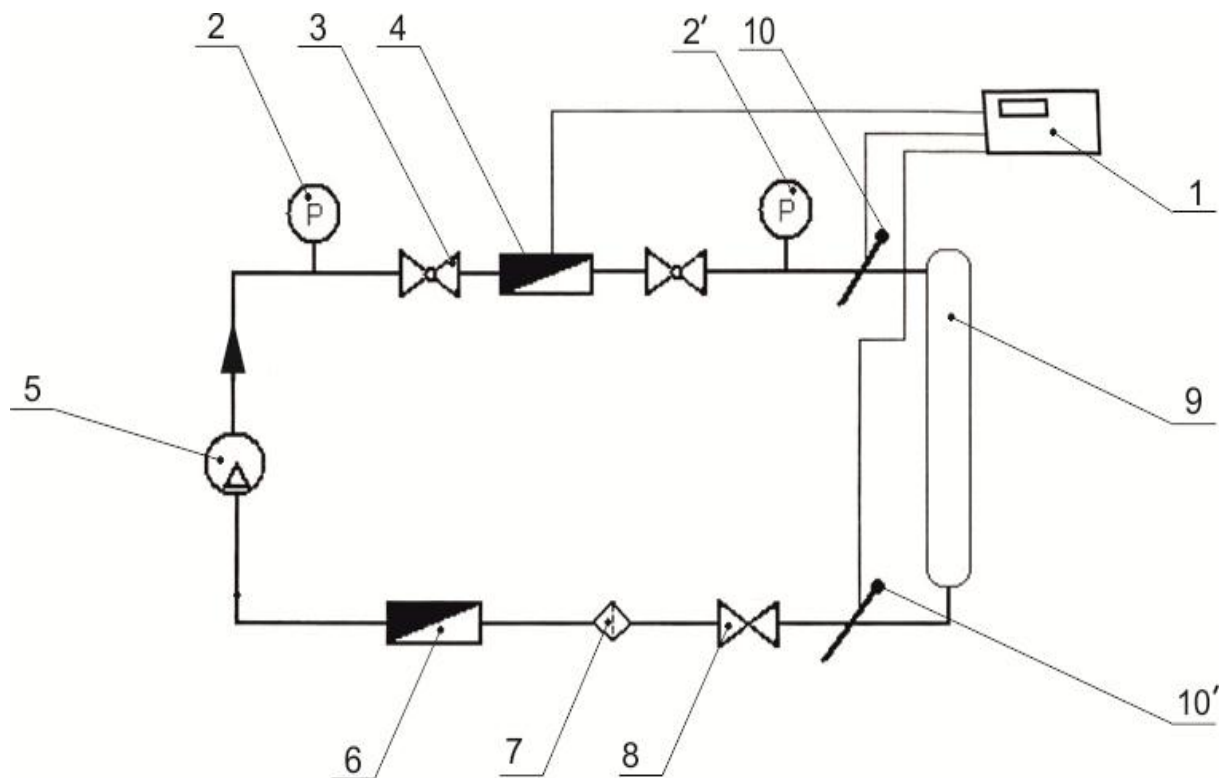
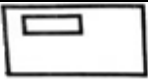
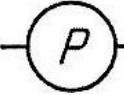


Рис 3.3. Гідравлічна схема лабораторного стенду “Техприлад”

Таблиця 3.1. Перелік умовних позначень гідравлічної схеми

Позначення	Найменування
	1 – Теплообчислювач
	2 – Манометр
	3 – Кульовий кран прохідний
	4,6 – Витратомір
	5 – Насос
	7 – Фільтр механічної очистки
	8 – Кран для встановлення дифманометра
	9 – Бак для води
	10 – Датчик температури теплоносія
	Трубопровід
	Напрямок руху рідини

3.1 Лічильники води

На стенді встановлений лічильники з імпульсним вихідним сигналом – JS-NK (рис.3.4- 3.5) та з візуальним зніманням показань JS (рис. 3.6 - 3.7), які призначені для виміру об'єму гарячої води (до 90°C).



Рис. 3.4. Лічильники з імпульсним вихідним сигналом – JS-NK

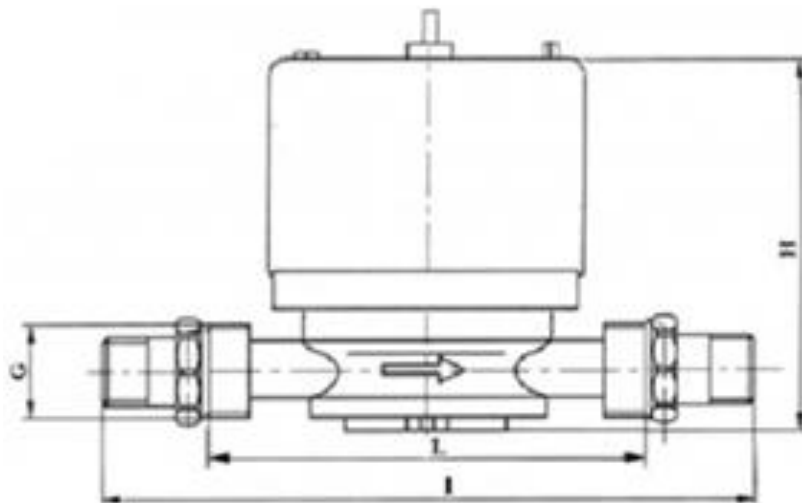


Рис 3.5. Габаритне креслення лічильника з з імпульсним вихідним сигналом JS-NK



Рис. 3.6. Лічильник з візуальним зніманням показань JS

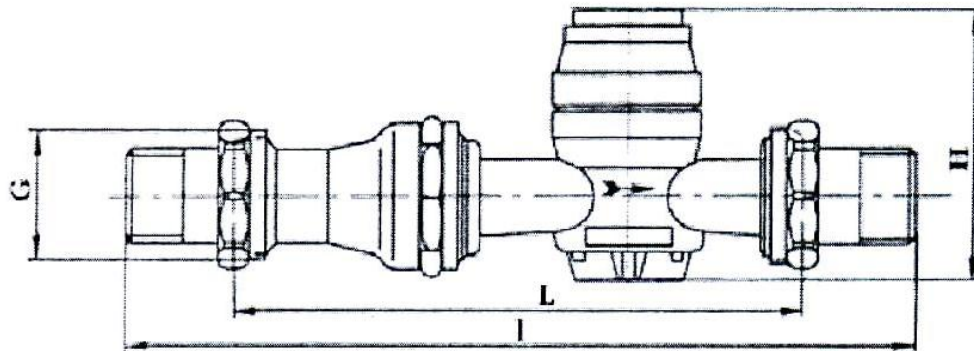


Рис 3.7. Габаритне креслення лічильника з візуальним зніманням показань JS

Принцип дії

Крильчатка лічильника з імпульсним вихідним сигналом PoWoGaz JS 90-NK приводиться в дію потоком теплоносія. Обертання крильчатки передається на відліковий механізм за допомогою торцевої магнітної муфти через пасивну металеву пластину. Герметичний відліковий механізм перетворює дані у зручний для зчитування цифровий вид. Він додатково обладнаний індикатором руху, який дає можливість автоматизувати регулювання. Регулюючий пристрій захищений пломбою.

Завдяки спеціальній конструкції підшипників, підбору матеріалів, стійких до корозії і зношування, лічильники відрізняються підвищеним ресурсом.

Лічильники гарячої води JS встановлюються на горизонтальній (H) або вертикальній (V) ділянці трубопроводу та призначені для вимірювання спожитого об'єму гарячої води. Вони виконані з матеріалів стійких до корозії та стирання. Крильчатка лічильника приводиться в рух потоком води, число обертів якої відображається на відліковому механізмі. Відліковий механізм додатково обладнаний індикатором руху з можливістю автоматизації регулювання та деталізації даних.

Особливості конструкції:

- мала втрата натиску;
- корпус лічильників виконаний з латуні;
- лічильники з імпульсним виходом виконані з антимагнітним екраном;
- відліковий механізм відокремлений від вимірювальної камери;
- висока надійність і ремонтпридатність.

Технічні характеристики крильчатих одноструменевих сухохідних лічильників JS-NK (з імпульсним виходом) та JS наведені в табл. 3.2 та табл. 3.3 відповідно.

Таблиця 3.2. Технічні характеристики лічильника води JS-NK

Тип	Холодна вода		JS 1,5-NK	JS 2,5-NK
	Гаряча вода		JS 90-1,5-NK	JS 90-2,5-NK
1	2	3	4	5
Номінальний діаметр	D_n	мм	15	20
Номінальна об'ємна витрата	Q_n	м ³ /год	1,5	2,5
Максимальна об'ємна витрата	Q_{max}	м ³ /год	3	5

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5
Перехідна об'ємна витрата: – вертикальне встановлення – горизонтальне встановлення	Q_t	м ³ /год	0,15 0,12	0,25 0,20
Мінімальна об'ємна витрата: – вертикальне встановлення – горизонтальне встановлення	Q_{min}	м ³ /год	0,06 0,03	0,10 0,05
Поріг чутливості	-	м ³ /год	0,008	0,015
Різьба	G	дюйм	G 3/4	G 1
Довжина	L	мм	110	130
Довжина зі штуцерами	I	мм	190	230
Висота	H	мм	85	
Вага (без штуцерів)	-	кг	0,49	0,58

Таблиця 3.3. Технічні характеристики лічильника води JS

Тип	Холодна вода		JS 3,5	JS 6	JS 10
	Гаряча вода		JS 90-3,5	JS 90-6	JS 90-10
Номінальний діаметр	D_n	мм	25	32	40
Номінальна об'ємна витрата	Q_n	м ³ /год	3,5	6	10
Максимальна об'ємна витрата	Q_{max}	м ³ /год	7	12	20
Перехідна об'ємна витрата	Q_t	м ³ /год	0,35	0,6	1,0
Мінімальна об'ємна витрата	Q_{min}	м ³ /год	0,14	0,24	0,3
Поріг чутливості	-	м ³ /год	0,0005	0,009	0,01
Різьба	G	дюйм	G 1 1/4	G 1 1/2	G 2
Довжина	L	мм	260	260	300
Довжина зі штуцерами	I	мм	378	378	438
Висота	H	мм	110		
Вага (без штуцерів)	-	кг	2,2	2,6	2,8

3.2 Теплообчислювач Суперком-01-1

Теплообчислювач призначений для вимірювання, контролю та обліку теплової енергії і параметрів теплоносія у закритих та відкритих водних системах теплопостачання у виробника і споживача; служать для забезпечення комерційного обліку теплопостачання (теплоспоживання), гарячого і холодного водопостачання. Область застосування - підприємства теплових мереж, теплові пункти, об'єкти споживання (будівлі) промислового, комунального та побутового призначення.

Теплолічильники забезпечують вимірювання за двома тепловими системам і розраховані на роботу з первинними перетворювачами витрати, об'єму, температури і тиску, Теплолічильник складаються з теплообчислювача SKS-3 (рис. 3.7), до якого під'єднано:

- пара первинних перетворювачів температури типу Pt500;
- первинний перетворювач витрати з імпульсним вихідним сигналом типу (крильчастий лічильник JS-NK).

Прилад має на передній панелі вікно для відображення інформації та дві кнопки, при натисканні на які, на екран по черзі виводяться:

- кількість теплоти в ГДж;
- об'єм рідини, що пройшов крізь лічильники, м³;
- температура у “прямому” трубопроводі, $T_1^{\circ}\text{C}$;
- температура у “зворотному” трубопроводі $T_2^{\circ}\text{C}$;
- різниця температур $\Delta T = T_1 - T_2$;
- час роботи, год;
- витрата рідини, л/год;
- кількість теплоти, МВт.

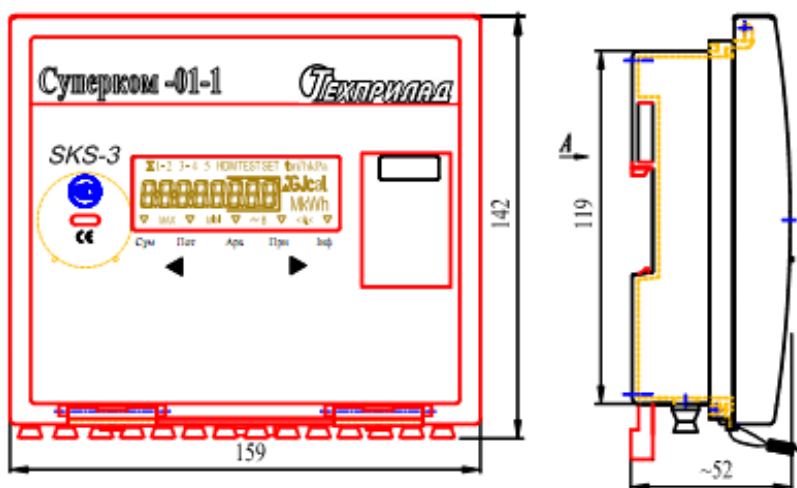


Рис. 3.7. Теплообчислювач Суперком-01-1

Принцип дії теплорічильника Суперком-01-1

Інтегратор одночасно вимірює температуру теплоносія на вході та виході системи і поточну витрату. Інформація про температуру теплоносія надходить від первинних перетворювачів температури, що представляють собою термоопори, у вигляді постійного електричного сигналу. Далі аналоговий електричний сигнал перетворюється у цифровий за допомогою АЦП інтегратора. Цифровий сигнал від АЦП потрапляє у мікропроцесорну систему теплообчислювача. Інформація про поточну витрату надходить від перетворювача витрати з імпульсним виходом. Кількість імпульсів, що надходить до інтегратора, пропорційна об'єму теплоносія, який пройшов крізь лічильник. На основі отриманої інформації теплорічильник обчислює кількість спожитої теплової енергії.

Технічні характеристики теплорічильника Суперком-01-1:

- діапазон вимірюваних температур: $0 \dots 160^{\circ}\text{C}$;
- діапазон вимірювання різниці температур: $3 \dots 160^{\circ}\text{C}$;
- похибка вимірювання теплової енергії інтегратора (табл. 3.4).

Теплообчислювач має функцію збереження даних в архів за годину, добу, місяць та рік.

Таблиця 3.4. Похибка вимірювання теплової енергії інтегратора

Зміна температури	Відносна допустима похибка
$3^{\circ}\text{C} < \Delta t < 20^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,5\%$
$20^{\circ}\text{C} < \Delta t < 140^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,75\%$

Інтерфейс обчислювача (рис. 3.8) має 5 режимів відображення інформації:

Сум – сумарні параметри (інтегральні значення),

Пот – поточні параметри (витрата, температура та ін.),

Арх – архівні дані,

Прн – можливість виведення на принтер сумарні та архівні дані,

Інф – інформація про лічильник,

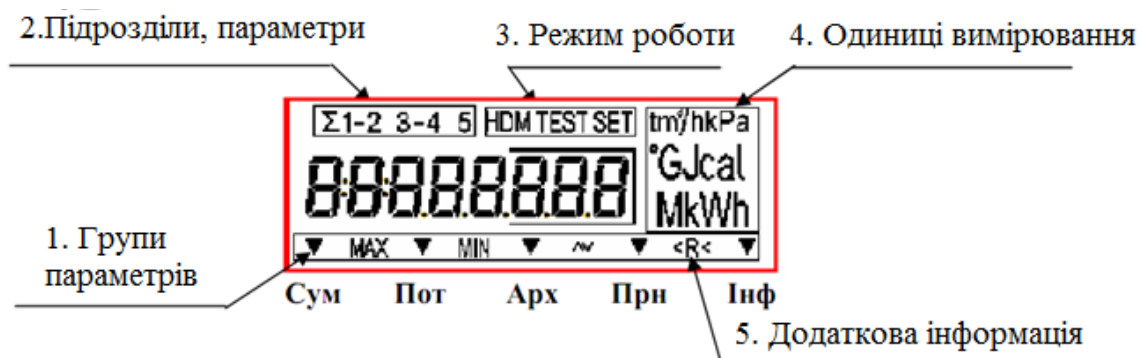


Рис. 3.8. Інтерфейс обчислювача

Поточний режим відображення позначає ▼, для перемикавання режиму необхідно натиснути ► і потримати близько 3с. При короткому натисканні ► відбувається перехід між параметрами у відповідному режимі.

3.3 Манометр МПЗ-У

Манометри МПЗ-У (рис 3.9) призначені для вимірювання надлишкового тиску неагресивних, що не кристалізуються відносно мідних сплавів, рідин, пари й газу, у тому числі кисню, ацетилену, хладагенту 12, 13, 22, 142 й 502 (фреону) з температурою до 150°C.



Рис.3.9. Манометр МПЗ-У

Принцип дії

Принцип дії манометра базується на врівноважуванні вимірюваного тиску силою пружної деформації трубчастої пружини (трубка Бурдона), один кінець якої запаятий у тримач, а інший через тягу пов'язаний із трібкосекторним механізмом, що перетворює лінійне переміщення пружного чутливого елемента в круговий рух стрілки на циферблаті.

Основні технічні характеристики наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Технічні характеристики манометру МПЗ-У

Параметр	Значення
Діаметр, мм	100
Маса, кг	< 0,7
Матеріали деталей: – корпус – скло – трубчаста пружина – тримач – механізм	сталь, алюмінієвий сплав; технічне віконне; мідний сплав, залізо-нікелевий сплав; мідний сплав; бронза, нержавіюча сталь.
Середній термін служби, рік	10
Межа вимірів, 10^{-1} МПа	від 0 до 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000; 1600
Прилади витримують вплив вібрації	у діапазоні частот від 5 до 25 Гц із амплітудою до 0,1 мм (група L3 за ДСТ 12997-84)
Клас точності: 1	межа основної похибки, що допускає, від верхньої межі показань $\pm 1,5\%$
Ступінь захисту від проникнення пилу і води	ступінь захисту IP40 за ДСТ 14254-96
Різьблення приєднувального штуцера	метричне різьблення M20x1,5-8g

3.4 Циркуляційний насос Wilo Star-RS 25/7

Циркуляційний насос Wilo (рис 3.10) призначений для перекачування теплоносія в побутових опалювальних системах, системах гарячого водопостачання і кондиціонування.

Для централізованих і місцевих систем опалення використовується тришвидкісний циркуляційний насос з мокрим ротором типу Star-RS. Найчастіше насос Wilo Star-RS 25/7 використовується в одно - двотрубних системах опалення, а також у змішувальних контурах більших систем.



Рис. 3.10. Циркуляційний насос Wilo Star-RS 25/7

Технічні характеристики насосу наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6. Технічні характеристики насосу Wilo Star-RS 25/7

Параметр	Значення
Максимальна витрата, м ³ /год	5,5
Монтажна довжина, мм	180
Робочий тиск (макс), бар	10
Вага, кг	2,4
Натиск, м вод. ст.	7
Приєднання	Rp1
Споживана потужність, Вт	97-144
Підключення до мережі	220 В/50 Гц
Число обертів, об/хв	2300 / 2650 / 2800
Номінальний діаметр DN, мм	32-80
Фланець	PN 16/DIN 2533
Фланець має вихід до датчиків тиску	R 1/8
Номінальна потужність двигуна	57,0 / 29,5 / 13,5 W

Переваги циркуляційного насоса Wilo Star-RS 25/7:

- насос із мокрим ротором;
- триступінчасте перемикання швидкості;
- допустима температура рідини від -10°C до $+110^{\circ}\text{C}$;
- температура навколишнього середовища до $+40^{\circ}\text{C}$
- захист мотора не потрібен (стійкий до струмів блокування).

Принцип дії:

У насосах з мокрим ротором ротор, електродвигун занурений у середовище, що перекачується. Розділююча втулка, вбудована в корпус електродвигуна, захищає котушку статора. Ця втулка виготовлена з немагнітної високолегованої сталі. Вал виготовлений з неіржавіючого матеріалу і обертається у графітових підшипниках. Втулка валу нерухома. Середовище, під тиском, що перекачується крізь систему, одночасно її охолоджує і знижує тертя у підшипниках.

Установка насосу з мокрим ротором на пряму або зворотну лінію, забезпечує швидке та інтенсивне переміщення води. В результаті, з'являється можливість використовувати трубопроводи меншого діаметру. Це приводить до зниження витрати на систему опалення. Система опалення може швидше реагувати на коливання температури і легше піддається регулюванню.

3.5 Датчики температури Pt500

Датчик температури Pt500 (рис.3.11) – це проводовий комплект з захисними гільзами, призначений для вимірювання температури та її різниці у системах теплопостачання в складі теплообчислювачів. Комплект складається із двох термоперетворювачів, підібраних у парі.



Рис.3.11. Датчики температури Pt500

Принцип дії датчика температури Pt500 базується на зміні електричного опору термоперетворювачів від температури.

Конструкція нерозбірна. Чутливий елемент поміщений у корпус. Періодичну перевірку комплектів термоперетворювачів опору Pt500 здійснюють органи Державної метрологічної служби. Методика перевірки поставляється на вимогу метрологічної служби регіону. Міжповірочний інтервал – 4 роки.

Технічні характеристики наведені у табл. 3.7, градувальна характеристика - в табл. 3.8.

Таблиця 3.7. Технічні характеристики датчиків температури Pt500

Параметри	Значення
Номінальна статична характеристика за ДСТУ 6651-94	Pt500
Діапазон вимірювальних температур	0...+160°C
Клас допуску	В
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 при вимірі різниці температур Δt , З	$(0,09 + 0,005dt)$
Схема приєднання	двопровідникова
Номинальний робочий струм, <i>мА</i>	0,2
Показник теплової інерції, <i>с</i>	не більше 15
Мінімальна глибина занурення, <i>мм</i>	32
Габаритні розміри, <i>мм</i>	діаметр 6, довжина 47
Довжина кабелю, <i>м</i>	1,5; 2; 3; 10
Електричний опір 1 <i>м</i> кабелю, Ом	не більше 0,05
Середній термін служби	не менш 8 років

Таблиця 3.8 Опір перетворювачів температури Pt-500

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

4 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

4.1 Лабораторна робота № 1

Тема роботи: Оцінювання конструктивних особливостей пристроїв та приладів

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

Теоретичні відомості

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Позачергова повірка здійснюється в таких випадках:

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

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

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

Засоби повірки:

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

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

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

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

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

Умови проведення повірки

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

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

Стрілка на корпусі лічильника повинна співпадати з напрямком потоку води.

Підготовка до роботи

Перед проведенням повірки повинні бути виконані наступні підготовчі роботи:

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

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

Проведення повірки

1) Зовнішній огляд.

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

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

2) Перевірка герметичності.

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

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

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

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

3) Опробовування.

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

4) Визначення метрологічних характеристик.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Результати повірки заносять у протокол.

Оформлення результатів повірки

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

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

3. Результат повірки лічильника заносять до протоколу.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

10. Лічильники встановлюються відліковим пристроєм доверху.

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

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

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

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

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

3. Якщо температура води в системі не перевищує 40°C , 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 показання всіх лічильників;
- г) за допомогою магазинів опору задати температуру T_1 та T_2 , 20°C за таблицею 3.8.
- д) ввімкнути стенд;
- е) максимально відкрити кран;
- ж) через рівні проміжки часу зняти покази лічильників для трьох витрат, що встановлюються насосом, і занести до табл. 4.1;
- з) повторити п.б. для кількох положень крану;
- и) на основі отриманих даних визначити витрати рідини, зафіксовані у всіх точках зняття показань;
- к) визначити приведену похибку лічильників, що повіряються, за формулою

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

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

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

м) оцінити правильність вибору складових стенду;

н) зробити висновки [5-31].

Таблиця 4.1. Результати експерименту

Режим роботи насоса	Зразковий лічильник			Лічильник, що повіряється	
	Покази	V, м ³	Q, м ³ /год	Q, м ³ /год	γ , %
Кран повністю відкритий					
0					
1					
2					
3					
Кран перекритий частково					
0					
1					
2					
3					
Кран перекритий наполовину					
0					
1					
2					
3					

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

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

Контрольні запитання:

- 1) Принцип роботи стенду.
- 2) Складові елементи стенду.
- 3) Як працює обчислювач та як знімається з нього інформація?
- 4) Розказати принцип роботи лічильників на стенді.
- 5) Яка особливість насоса даного стенду?
- 6) Які переваги використаних лічильників?
- 7) Як слід правильно обирати лічильник: за витратою або за діаметром трубопроводу, на який він встановлюється?

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 тепlopостачання; розглянути основні прилади та пристрої стенду; провести гідравлічний розрахунок стенду фірми “Техприлад”.

Теоретичні відомості

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

Таблиця 4.2. Густина води, залежно від температури

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

Діаметр трубопроводу d визначається за рівнянням витрати (4.2):

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

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

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

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, $\text{H}/\text{м}^2$ обчислюється рівнянням (4.4):

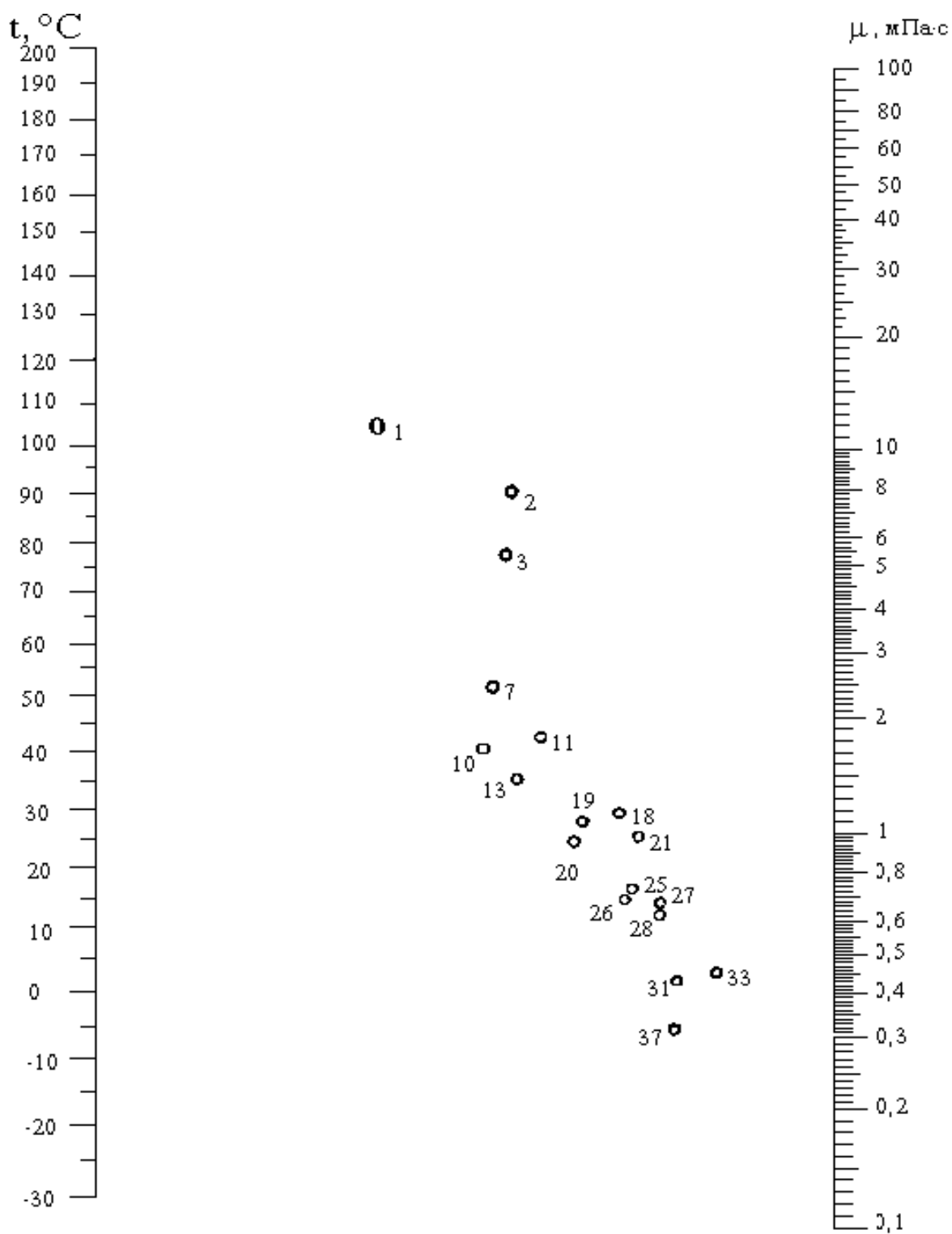


Рис.4.1. Номограма для визначення динамічного коефіцієнту в'язкості води за різних температур

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

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

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

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

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

в області турбулентного режиму течії при $\text{Re} \geq \text{Re}' = 120 \left(\frac{d}{k} \right)^{1,125}$ 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 $2300 \leq \text{Re} \leq 4000$ на підставі дослідних даних, отриманих Г.А. Муріним, виведено рівняння

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

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.

Таблиця 4.3 Еквівалентна шорсткість труб

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

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:

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

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:	

Продовження табл.4.4

1	2	3
	– відведення при куті повороту 90^0	$0,42/(\sqrt{R/d})$
	– відведення стандартні при $R/d = 1,5$ і кутом повороту 90^0	0,34
8	Відведення сталеві секційні	до 0,4
9	Коліно з гострою кромкою і кутом повороту 90^0 :	
	– 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)	0,32
11	Трійник :	
	– прохід	0,35
	– бічне відгалуження	1,5
	– при симетричному злитті потоків	2
	– при симетричному розділенні потоку	2,5
12	Хрестовина:	
	– бічне відгалуження	3,0
	– прохід	2,0
13	Вентиль при повному відкритті :	
	– стандартний	4 .. 6
	– штампований	7,8
	– кутовий	2,3
	– прямоточний	1,3
14	Клапан зворотний :	
	– поворотний	2,0
	– підйомний	8,0
15	Кран	3,0
16	Компенсатор:	
	– лінзовий	0,3
	– сальниковий	0,5
	– П - подібний	2,0

Продовження табл.4.4

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

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 вимірювального стенд;
- б) детально ознайомитися з основними приладами та запірною арматурою;
- в) зробити заміри частин стенду та накреслити його схему;
- г) записати початкові показання всіх лічильників стенду;
- д) за допомогою магазинів опору задати температуру T_1 та $T_2 = 20^\circ\text{C}$ за табл. 3.8.
- е) ввімкнути стенд.
- ж) провести заміри для трьох режимів швидкості насоса. Дані записати до табл. 4.5.
- з) розрахувати гідравлічний опір труб.
- и) розрахувати місцеві гідравлічні опори.

Таблиця 4.5 Результати експерименту

Режим насосу	$V_1, \text{м}^3$	$V_2, \text{м}^3$	$V_{\text{сер}}, \text{м}^3$	$Q, \text{м}^3/\text{год}$	$v, \text{м/с}$	$\Delta P, \text{Па}$
Початкові дані						
1						
2						
3						

- к) розрахувати швидкість потоку, втрату тиску.
- л) побудувати графік залежності втрати тиску від витрати.
- м) зробити висновки.

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

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

Контрольні запитання:

- 1) Що таке місцеві гідравлічні опори та які вони бувають?
- 2) На яких ділянках стенду та на яких приладах будуть найбільші втрати напору?
- 3) Яким чином втрати напору на ділянках та кількість приладів впливають на вибір насосу та діаметру трубопроводу для проектування аналогічних систем?

4) Поясніть яким чином та за якими параметрами відбувається гідравлічний розрахунок.

5) Яких довжин прямих ділянок слід дотримуватися при встановленні лічильників (до і після них)?

6) Яку арматуру передбачено встановлювати при встановленні лічильників?

4.3 Лабораторна робота №3

Тема роботи: Вимірювання витрати та кількості теплової енергії.

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

Теоретичні відомості

Загальна постановка проблеми. Системи обліку тепла є необхідними та важливими, як для споживачів тепла, так і його постачальників. Першорядним критерієм якості систем 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 теплोलічильниками, для оперативного стеження за втратами тепла в будівлі.

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



Рис. 4.2. Система опалення будівлі

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

Рівняння для його роботи має вигляд:

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

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

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

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

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

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

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

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 швидкостей насоса, дані записати до табл. 4.6;
- д) зняти показання величини теплоти з обчислювача;
- е) розрахувати величину теплоти по даним лічильника з візуальним показником;
- ж) порівняти отримані результати;
- з) зробити висновки по роботі.

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

- мета роботи;
- короткий опис роботи стенду та його елементів;
- завдання;

- гідравлічна схема стенду ;
- результати вимірювань;
- обробка результатів вимірювання;
- аналіз отриманих результатів та висновки.

Таблиця 4.6 Результати експерименту

Режим насоса	$T_{1вх},$ °C	$T_{2вих},$ °C	$V_{1покази},$ м ³	$V_{2покази},$ м ³	t, c	$G,$ Gcal	$G_{роз},$ Gcal	$\gamma, \%$
Початкові покази	-	-						
1	70	25						
	80	30						
	90	35						
2	70	25						
	80	30						
	90	35						
3	70	25						
	80	30						
	90	35						

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 тепlopостачання з використанням пакетів віртуального моделювання

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

Теоретичні відомості

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

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

Застосування CFD-моделювання дозволяє оптимізувати такі аспекти при розробці, монтажу і обслуговуванні витратомірів: визначення причин неполадок, що виникають при вимірюванні, оцінка величини похибок та ефективності мір по усуненню неполадок, екстраполяція лабораторних

експериментів на практичне застосування, оцінка альтернативних конфігурацій перетворювачів та ступеню впливу на ефективність їх роботи параметрів вимірювальної камери, місцевих гідравлічних опор технологічної мережі і межових умов. Це особливо актуально для області малих витрат, де вартість вимірювань виходить на одне з перших місць. Також слід зазначити, що в ряді випадків, щоб отримати чітку картину взаємодії вимірюваного середовища з ЧЕ витратоміра поставити натурний експеримент не представляється можливим. Тоді на допомогу і приходить комп'ютерне моделювання, завдяки якому можна проаналізувати метрологічні характеристики певної конструкції витратоміра.

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

Переваги ANSYS CFX особливо проявляється при вирішенні великих моделей з багатокомпонентними течіями і складною структурою. Вирішувач ANSYS CFX мало чутливий до відносних розмірів елементів, тимчасових кроків і релаксаційних факторів. Точність обчислення досягається як за рахунок високої точності на вузол, так і схемою дискретизації другого порядку, встановленої за умовчанням. Ці ж

властивості зберігаються при паралельних розрахунках, забезпечуючи відмінні параметри прискорення на багатопроцесорних системах і кластерах робочих станцій.

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

Можливість застосування CFD-технологій для розрахунку метрологічних параметрів перетворювачів витрати нині тільки вивчається, і практично немає систематичних досліджень впливу моделей турбулентності на коректність передачі структури потоку у вимірювальному трубопроводі і точність розрахунку паспортних характеристик приладів. Не дивлячись на розходження, програми мають схожий принцип роботи [51-58].

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. “Техприлад” // [Персональна сторінка компанії] / Інжинірінгова компанія. [Київ, 1994-2015]. – Режим доступу: <http://www.techprilad.com/>. — Назва з екрану.
5. “СЕМПАЛ” // [Персональна сторінка компанії] / ТОВ. [Київ, 2002-2015]. – Режим доступу: <http://www.sempal.com/>. — Назва з екрану.
6. “Водолій” // [Персональна сторінка компанії] / ТОВ. [Київ, 1996-2015]. – Режим доступу: <http://www.ve-ltd.com.ua/>. — 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. – 128 с.

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

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

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

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.