

**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 “СЕМПАЛ”
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 “СЕМПАЛ” для студентів напряму підготовки 6.051003 “Приладобудування” професійного спрямування “Інформаційні технології в приладобудуванні”// Уклад.: І.В.Коробко, І.А.Гришанова, В.А.Коваленко - К.:НТУУ”КПІ”, 2015.-88с.

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

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

За редакцією укладачів

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1 ІНСТРУКТАЖ З ПРАВИЛ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В ЛАБОРАТОРІЇ “ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ”...	7
1.1 Інструкція з протипожежної безпеки.....	8
1.2 Надання першої допомоги потерпілому при нещасних випадках	9
1.3 Правила поведінки при виконанні лабораторних занять.....	10
1.4 Алгоритм виконання лабораторного заняття	11
2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ТА КІЛЬКОСТІ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ І ВОДИ.....	12
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПРОЛИВНА УСТАНОВКА “СЕМПАЛ”...	22
3.1 Насос Wilo-Star- E 30/1-5 з мокрим ротором.....	27
3.2 Тахометричний витратомір METRON WS 6.0.....	32
3.3 Регулюючий клапан з електроприводом NR24-SR.....	34
3.4 Теплообчислювач СВТУ-10М.....	37
3.5 Ультразвуковий лічильник.....	40
3.6 Термоперетворювачі “СЕМПАЛ” ТСП-С.....	43
3.7 манометр радіальний “CEWAL”.....	47
3.8 Запобіжні мембранні клапани тиску SYR-Hans Sasserath & Co.....	48
3.9 Фільтр сітчастий.....	51
4 ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.....	53
4.1 Лабораторна робота № 1. Оцінювання конструктивних особливостей пристроїв та приладів.....	53
4.2 Лабораторна робота №2. Гідравлічні розрахунки системи постачання теплової енергії.....	65

4.3 Лабораторна робота №3. Вимірювання витрати та кількості теплової енергії.....	73
4.4 Лабораторна робота №4. Моделювання роботи системи теплопостачання з використанням пакетів віртуального моделювання	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВД – витратомірна ділянка з ультразвуковими датчиками витрати;

ГУ – граничні умови;

ДТ – датчик температури;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;

ПЕП – п'єзоелектричний перетворювач;

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;

ПЕРВ – паливно-енергетичні ресурси та вода;

ТПО – теплоперетворювач опору ТО;

УПВ – ультразвуковий перетворювач витрати;

ЧЕ – чутливий елемент.

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).

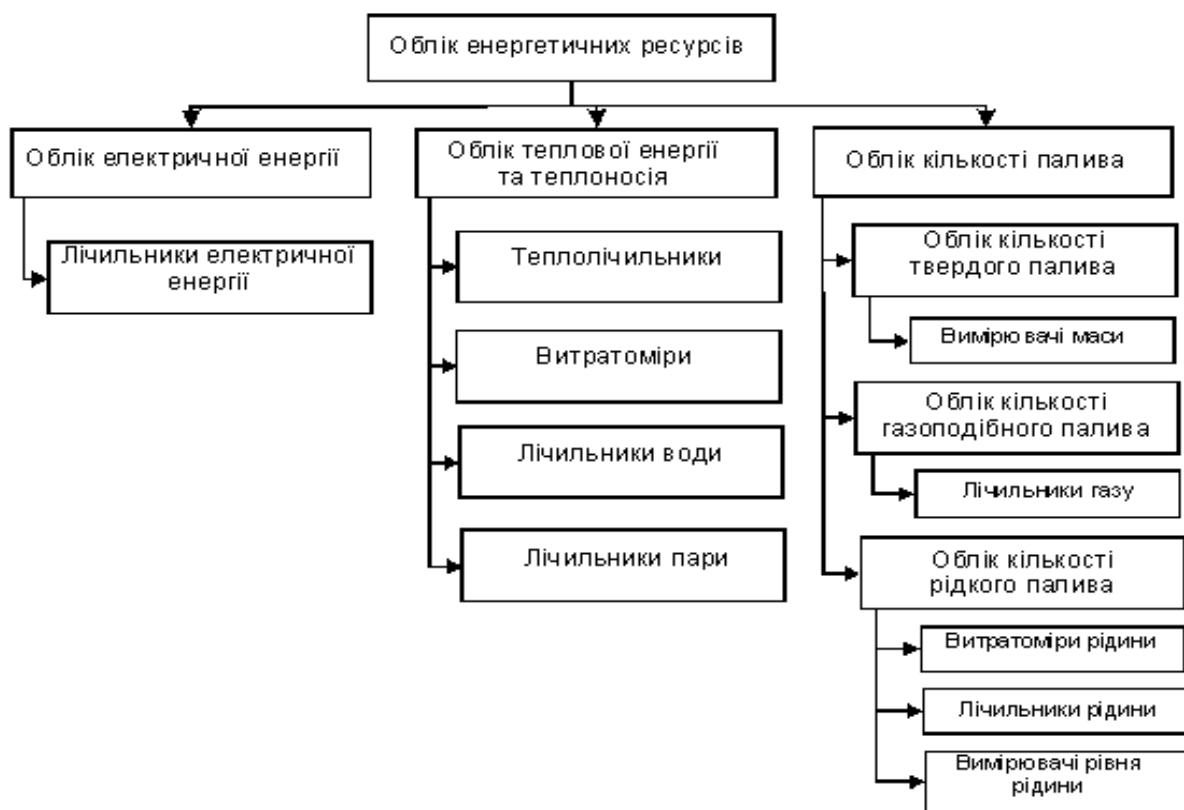


Рис. 2.1. Енергетичні ресурси та прилади для їх обліку

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 елементу (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) не залежність результатів вимірювань від тиску і температури;
- д) мінімальна залежність метрологічних характеристик від умов експлуатації;
- е) високі динамічні характеристики (швидкодія);

ж) працездатність приладу при вимірюваннях витрат і кількості не тільки за нормальних, а і за екстремальних умов (за низьких або високих температур і тиску, при вібраціях та ін.);

з) можливість вимірювання витрати широкої номенклатури речовин;

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

к) забезпеченість метрологічною базою.

Фактори, якими обумовлена складність вимірювання витрати ПЕРВ:

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

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

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

Оцінка похибок результатів вимірювання ПЕРВ

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

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

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

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

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

Для спрощення розрахунків припустимо, що $\Delta t_i = \Delta t = const$. 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 $\varepsilon_{сист}$ та випадкової $\varepsilon_{вип}$ складових.

Припустимо також, що випадкова складова похибки $\varepsilon_{вип}$ 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_n до кінцевого x_k значень, в діапазоні вимірювань ЗВ.

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

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

або

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

де

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

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

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

то

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

У результаті інтегрування отримаємо:

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

Перший доданок виразу представляє номінальне значення результату вимірювань:

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

Дійсне значення абсолютної похибки:

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

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

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

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:

$$\eta_S = \frac{\varepsilon_S}{S_{IH}}. \quad (2.13)$$

Після підстановки ε_S та S_{IH} 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_I , 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

$$\varepsilon_{\text{вн}} = (1 - k)\Delta_{\text{д}}. \quad (2.18)$$

Далі припустимо, що

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

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:

$$\delta_s = 2 \frac{x_K - x_H}{x_K + x_H} (k_a + k_M) k \gamma_{\text{д}}. \quad (2.21)$$

2. При нормуванні похибки ЗВ у вигляді меж $\delta_{\text{д}}$ відносної похибки, що припускається, модуль дійсного значення абсолютної похибки ЗВ обмежений межею $\Delta_{\text{д}}$ абсолютної похибки, що допускається.

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

$$\delta_S = (k_a + k_M) k \delta_{\text{д}}. \quad (2.22)$$

Отримані вирази дозволяють оцінити відносну похибку результату S обліку енергоресурсів при заданих допустимих межах відносної $\delta_{\text{д}}$ або приведеної $\gamma_{\text{д}}$ похибок ЗВ миттєвої витрати енергоресурсів.

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

Метрологічні характеристики (межі допустимої похибки)

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

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

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

Відносну похибку E , у відсотках, розраховують за формулою:

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

де V_d – виміряне 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 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 збірною теплотічильника, межі допустимої похибки дорівнюють арифметичній сумі границь допустимих похибок кожної складової частини. Похибка збірних теплотічильників 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 $\pm 5\%$

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПРОЛИВНА УСТАНОВКА “СЕМПАЛ”

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



Рис. 3.1. Лабораторний стенд “СЕМПАЛ”

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

- 1 - Насос Wilo-Star-E 30/1-5 з мокрим ротором;
- 2 - Запобіжний мембранний клапан тиску SYR-Hans Sasserath & Co;
- 3 - Лічильник тепла і води СВТУ-10М;
- 4 - Регулюючий кран Belimo NR24-SR;
- 5 - Манометр радіальний CEWAL;
- 6 - Термоперетворювачі “СЕМПАЛ” ТСП-С;
- 7 - Турбінний лічильник холодної води Metron RP/T-sk2-16;
- 8 - Ультразвукові витратоміри РУ-16 1-03;
- 9 - Фільтр сітчатий.

Принцип роботи стенду

Циркуляція води в стенді забезпечується насосом Wilo Typ Start Ep 30/1-5. Манометри радіальні CEWAL, які розташовані перед та за насосом показують тиск вимірюваного середовища, відповідно, на вході та виході з насосу. Облік витрати здійснюється двома ультразвуковими витратомірами РУ-16 1-03 та одним тахометричним лічильником Metron WS 6.0. За допомогою двох кулькових кранів можна пускати потік в трьох напрямках. Також стенд містить запобіжний мембранний клапан тиску SYR-Hans Sasserath & Co та регулюючий кран Belimo NR24-SR, який має можливість працювати в автоматичному та ручному режимі. Інформація з датчиків температури енергоносія, у “подаючому” і “зворотному” трубопроводах, що вимірюється термоперетворювачами “СЕМПАЛ” ТСП-С, та ультразвукових витратомірів надходить до теплолічильника СВТУ-10М фірми “СЕМПАЛ”. Блок регулювання теплолічильника може задавати умовну температуру на вході першого та другого ультразвукового витратоміра, за інформацією яких вираховується спожита теплоенергія.

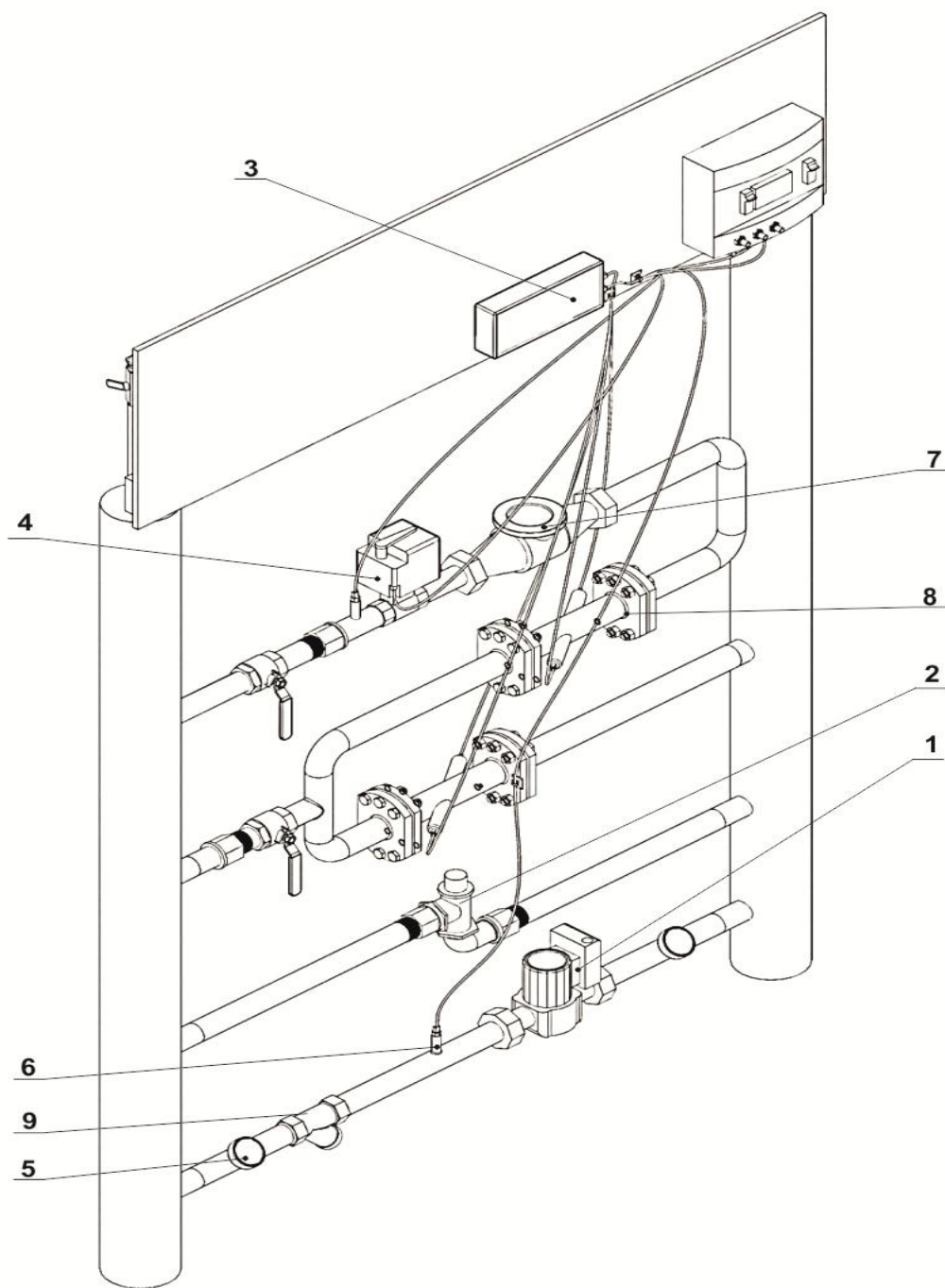


Рис. 3.2. Схема експериментальної установки “СЕМПАЛ”

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

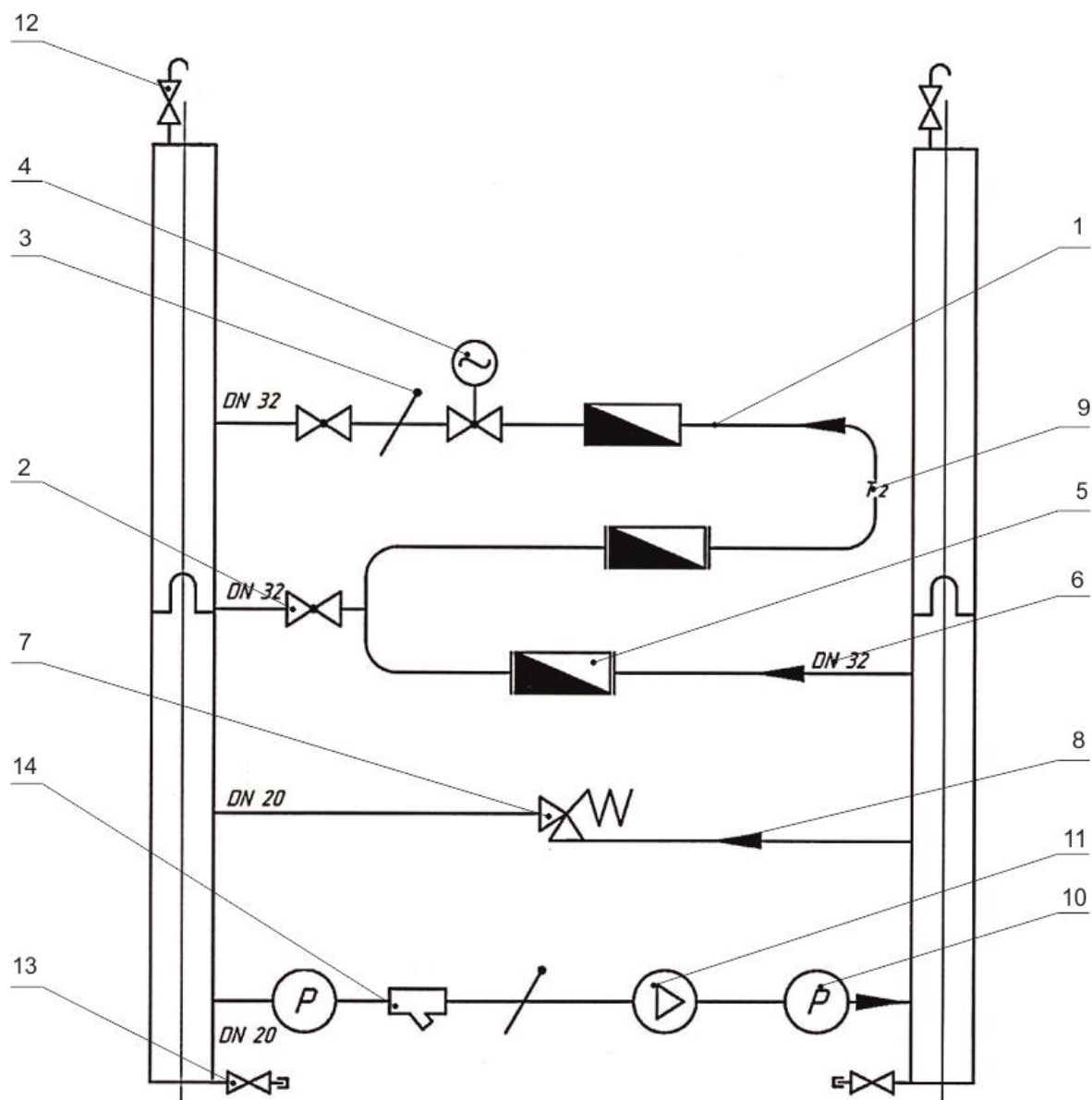
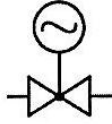
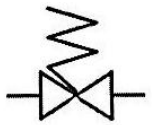


Рис. 3.3. Гідравлічна схема лабораторного стенду “СЕМПАЛ”

Електронні частини схеми живляться через запобіжники від мережі 220В. Також є блок для задання значення температур за допомогою зміни значення опору. Вимірювані значення передаються до ПК за допомогою кабелю RS-232. Данні зчитуються програмним забезпеченням “СЕМПАЛ”.

Таблиця 3.1. Перелік умовних позначень гідравлічної схеми

Позначення	Найменування
	1 - Трубопровід
	2 - Кульовий кран прохідний
	3 - Датчик теплоносія
	4 - Клапан з електроприводом
	5 - Витратомір
	6 - Позначення умовного діаметру трубопроводу
	7 - Запобіжний клапан
	8 - Напря́м руху рідини
	9 - Зворотній трубопровід
	10 - Манометр
	11 - Насос
	12- Клапан для стравлювання повітря
	13 - Випускний клапан
	14 - Фільтр сітчатий

3.1 Насос Wilo-Star- E 30/1-5 з мокрим ротором

Циркуляційний насос серії Wilo-Star-E (рис.3.4) розроблено спеціально для систем гарячого водопостачання й подібних систем зі змінним коефіцієнтом подачі.



Рис. 3.4. Насос з мокрим ротором

Електронне регулювання перепаду тиску насосу дає можливість безступінчастого регулювання потужності насосу відповідно до фактичних вимог системи та до кількості тепла.

Особливості насосу. Мокрий ротор застосовується для малої та середньої циркуляції. В насосах з мокрим ротором всі частини, що обертаються всередині мотору з розмежувальним стаканом, працюють у перекачуючому середовищі. В них відсутній сальник та ковзаюче торцеве ущільнення, що застосовується у звичайних насосах для ущільнення валу. Змащення підшипників валу та охолодження частин мотору здійснюється перекачуючим середовищем. Частина мотору (статор з обмоткою),

відділена від валу так званою мокрою порожниною - стаканом з кільцевим ущільненням.

Витрата – від 1 до 125 м³/год.

Напір – від 3 до 18 м.

Насос використовують для таких середовищ:

- вода для систем опалення по VDI 2035;
- вода і водо-гліколієва суміш у співвідношенні 1:1. При наявності гліколієвих домішок необхідно відкоригувати напір насоса відповідно до найбільшої в'язкості залежно від відсоткового співвідношення суміші.

Варто використати тільки середовище з антикорозійними інгібіторами виробництва WILO. Необхідно завжди дотримувати вказівок виготовлювача. Інші середовища можуть бути використані тільки з дозволу WILO.

Зручності використання:

- а) вбудований регулятор перепаду тиску для безступінчатого регулювання потужності;
- б) перемикач Δp -constant, Δp -variabel;
- в) автоматичне керування день/ніч за допомогою Fuzzy-Logic “автопілот”;
- г) техніка червоної кнопки;
- д) автоматична функція деблокування, яке забезпечує надійний запуск насоса після його тривалого простою.

Позначення насоса серії Wilo-Star наведено на прикладі насоса RS25/2 (рис.3.5).

Технічні характеристики насоса Wilo Star E 30/1-5 наведені в табл. 3.2 та рис.3.6 – 3.8.

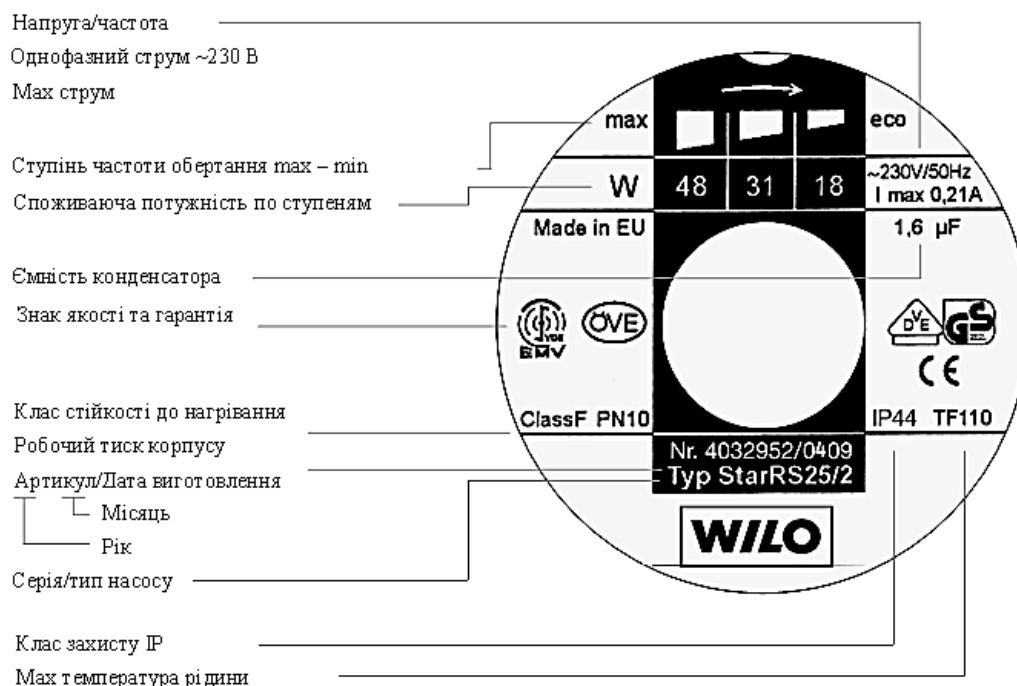


Рис.3.5. Позначення насосу серії Wilo-Star, на прикладі, насосу RS25/2

Таблиця 3.2. Технічні характеристики насосу Wilo-Star, RS25/2

Технічна характеристика	Параметри		
1	2		
Тип насосу	Wilo Star E 30/1-5		
Напруга джерела живлення	~230 В ±10%, 50 Гц		
Споживаюча потужність, Вт	36-99		
Діапазон температур води, °C	от 15 до 110		
Максимальний робочий тиск, бар	10		
Макс. температура зовнішнього середовища, °C	40		
Мінімальний тиск в напірному патрубку, бар	0,05	0,3	1,0
При Tmax, °C	50	95	110
Різьбове з'єднання Rp	R 1¼ / G 2		
Монтажна довжина, мм	130/180		
Напір	Max – 5m		
Витрата max, м³/год	3, 5		
Діапазон обертів	600-2600 1/min		

Продовження табл. 3.2

1	2
Діапазон температур при t навк. серед. max 25°C	+20 °C до +110 °C
Вага, кг	~3.2
<i>Мотор</i>	
Вид захисту	IP 44
Клас ізоляції	F
Створювані перешкоди	EN 50081-1
Перешкодозахищеність	EN 50082-2
Конденсатор, $\mu\text{F/NDB}$	2.6/400
Струм I, [A]	0.17 – 0.43
<i>Матеріали</i>	
Корпус насосу	сірий чугун (EN-GJL 200)
Робоче колесо	пластик (PP-40% GF)
Вал	нерж. сталь (X40Cr13)
Підшипники	металографіт

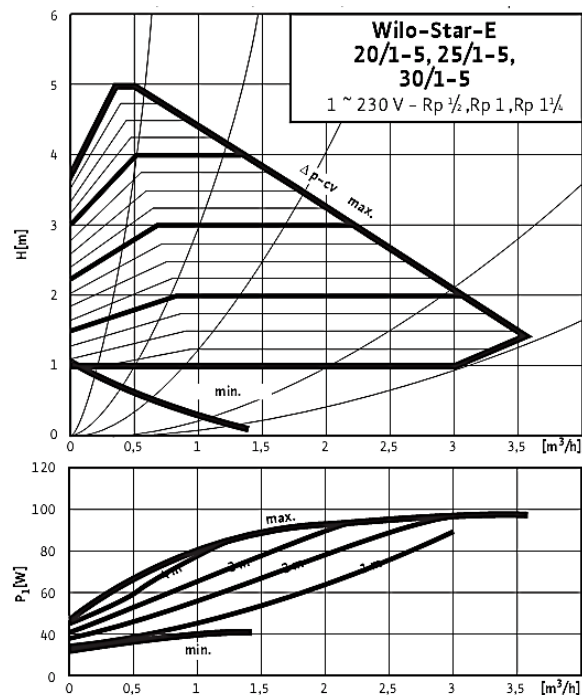


Рис. 3.6. Графік залежності напірного стовпа та спожитої енергії від витрати

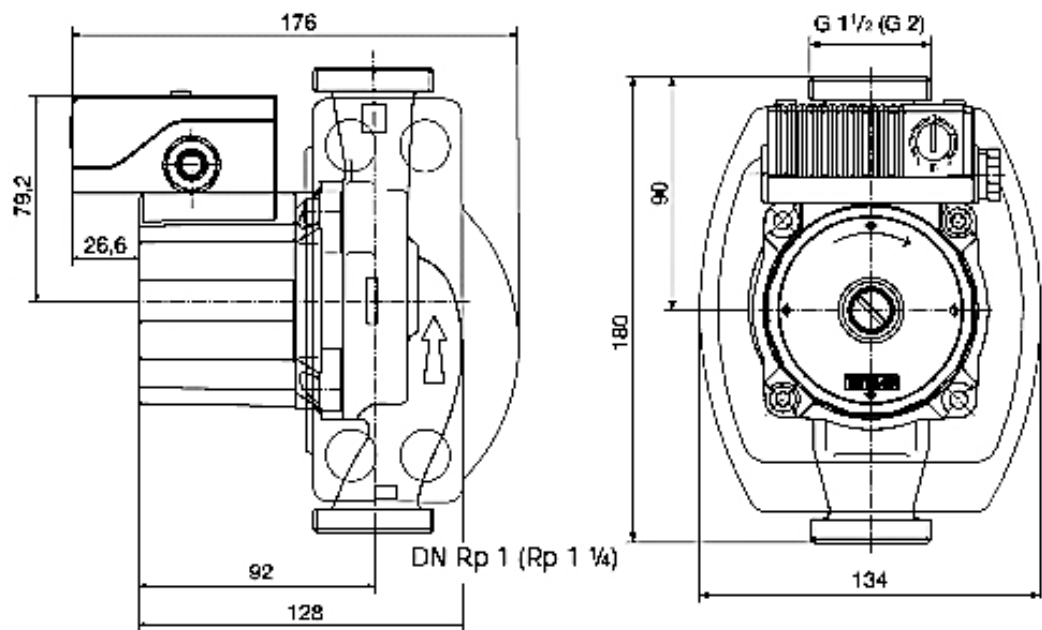


Рис 3.7. Габаритне креслення

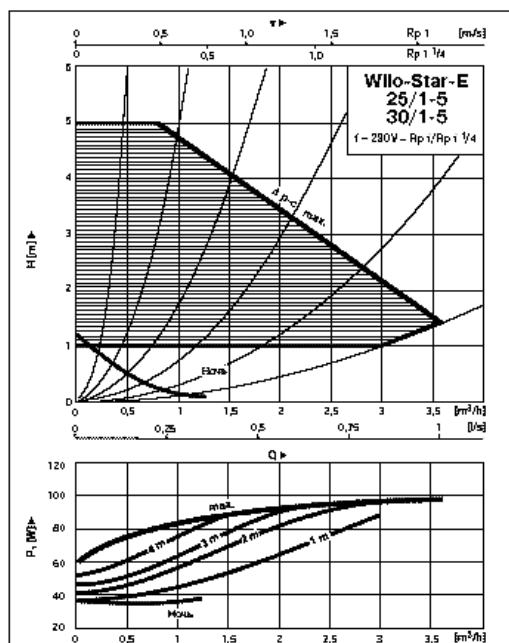


Рис. 3.8. Робочі лінії Δp -с (constant)

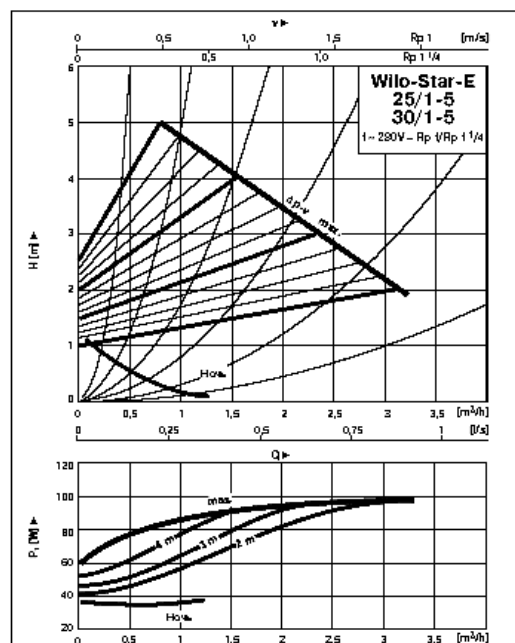


Рис. 3.9. Робочі лінії Δp -v(variable)

3.2 Тахометричний витратомір METRON WS 6.0

Лічильник води METRON WS 6.0 (рис. 3.10 - 3.12) призначений для обліку гарячої води. Лічильник встановлюється на горизонтальній ділянці трубопроводу. Крильчатка лічильника приводиться у дію декількома симетрично розміщеними струменями води. Крильчатка є єдиною рухливою частиною зануреною у воду. Число обертів крильчатки передається на відліковий механізм за допомогою торцевої магнітної муфти через масивну металеву пластину.



Рис. 3.10. Лічильник води METRON WS 6.0

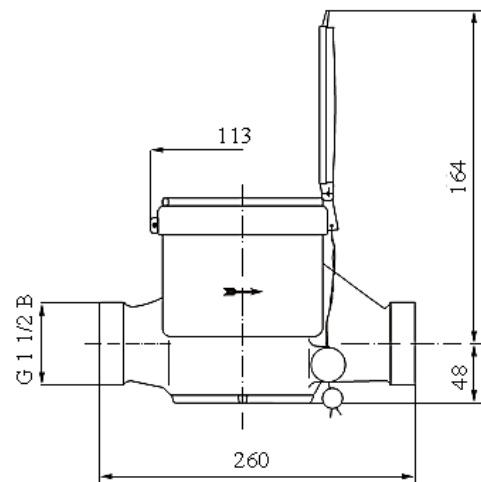


Рис. 3.11. Габаритні розміри лічильника

Сухий, герметичний в окремій порожнині, лічильний механізм підсумовує об'єм виміряної води й індукує результат у цифровий вид, зручний для обліку інкасатором. Рахунковий механізм має можливість відліку частки кубічного метру і додатково обладнаний індикатором руху, який має можливість автоматизації регулювання. Завдяки спеціальній конструкції підшипників крильчатки й підбору матеріалів стійких до

корозії та стирання, лічильник води характеризується довговічністю і стабільними метрологічними параметрами під час експлуатації.

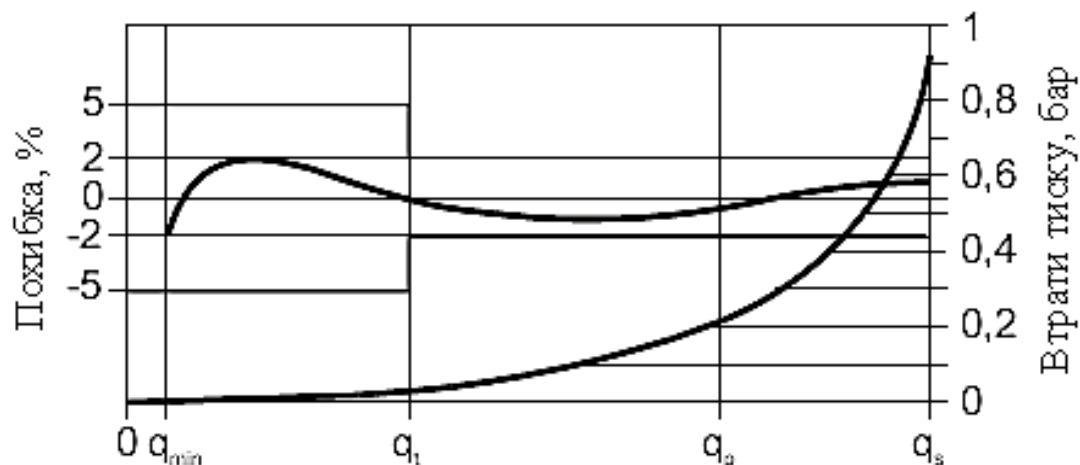


Рис. 3.12. Залежність похибки та втрат тиску від витрати

Технічні характеристики лічильника METRON WS 6.0 наведені у табл.3.3.

Таблица 3.3 Характеристики лічильника води METRON WS 6.0

Характеристика	Умовні позначення	
Тип лічильника	WS6.0	
1	2	3
Діаметр умовного проходу, мм	DN	32
Максимальний робочий надлишковий тиск, бар	MAP	16
Максимальна робоча температура, °C	MAT	120
Номінальна витрата, м ³ /год	Q_n	6
Максимальна витрата, м ³ /год	Q_{max}	12
Перехідна витрата, м ³ /год	Q_t	0,48
Мінімальна витрата, м ³ /год	Q_{min}	0,12
Максимальна втрата тиску, бар	ΔP	0,22

Продовження табл. 3.3

1	2	3
Найменша ціна поділки відлікового механізму, м ³	0,00005	
Ємність відлікового механізму, м ³	99 999	
Різьба патрубку лічильника, дюйм	D	G 11/2 В
Довжина лічильника, мм	L_1	260
Висота, мм	H_1	48
Висота, мм	H_2	164
Ширина, мм	B	113
Маса, кг		3,30

3.3 Регулюючий клапан з електроприводом NR24-SR

Регулюючий клапан NR24-SR виробництва фірми BELIMO забезпечує рівномірну характеристику потоку (рис. 3.13 - 3.15).



Рис. 3.13. Клапан з електроприводом NR24-SR

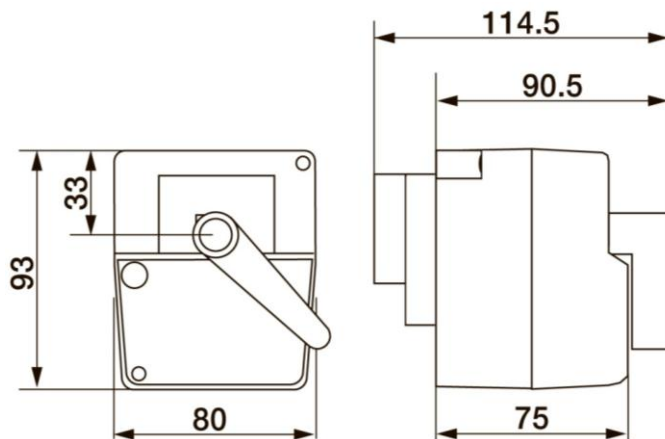


Рис. 3.14 Габаритне креслення

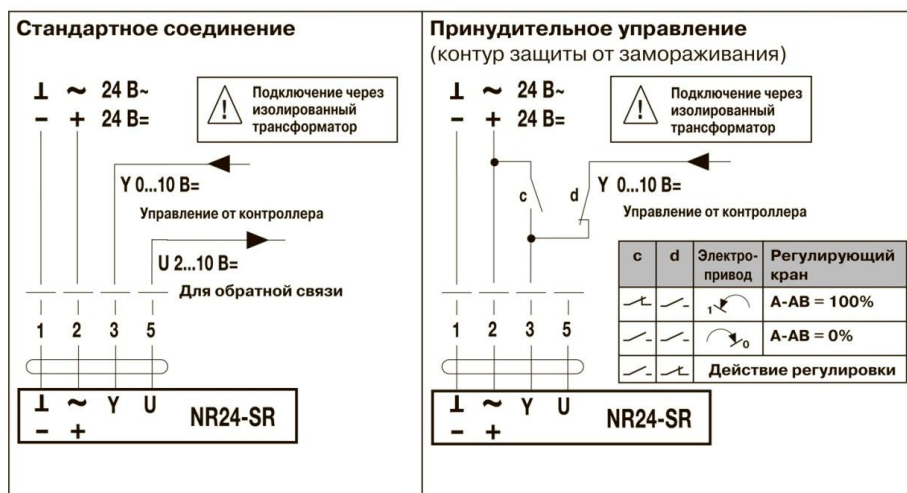


Рис. 3.15 Схема підключення

При підвищенні перепаду тисків клапан закривається й забезпечує постійний тиск на клапані регулювання потоку. Це необхідно для підтримки постійної витрати $\pm 5\%$ (при перепаді тисків у діапазоні від 30 до 350 кПа) при будь-якому куті відкриття регулювального клапана.

Принцип дії. Плавне регулювання здійснюється за допомогою стандартного керуючого сигналу величиною 0...10 В. Після включення живлення починається процес синхронізації. Електропривод з невеликою швидкістю переміщається в закриті положення (кінцевий вимикач “Зачинено”), де відбувається синхронізація.

Особливості виробу. Установка на регулюючий кульовий кран за допомогою одного гвинта. Положення установки по відношенню до регулюючого шарового крану може вибиратися з кроком 90° .

Надійність функціонування. Електропривод захищений від перевантажень і зупиняючись автоматично при досягненні кінцевих положень.

Ручне управління. Можливе за допомогою важеля (тимчасове – редуктор виводиться з зачеплення шляхом натискання, постійне – шляхом перевстановлення поворотного перемикача на корпусі).

Технічні характеристики клапану з електроприводом NR24-SR наведені в табл.3.4.

Таблиця 3.4. Технічні характеристики клапану NR24-SR

Номінальна напруга живлення	24 В ~ 50/60 Гц, 24 В
Діапазон напруги живлення	19,2...28,8 В ~, 21,6...28,8 В
Розрахункова потужність	2,5 ВА
Споживана потужність	1,5 Вт
З'єднання	Кабель 1 м, 4x0,75 мм ²
Управління	0...10В при вхідному опорі 100 кΩ
Робочий діапазон	2...10В для кута повороту 0...100% (0...90°)
Положення зворотного зв'язку	0...10 В = (max. 1 мА) для кута повороту 0...100% (0...90°)
Рівність ходу	± 5%
Ручне управління	Тимчасове або постійне виведення редуктору з зацеплення за допомогою поворотного перемикача на корпусі
Крутний момент	Мін. 10 Нм (при номінальній напрузі)
Час повороту	140 с
Рівень шуму	макс. 35 дБ (А)
Індикація положення	Пластина з шкалою 0...1
Клас захисту	ІІІ (для малих напруг)
Ступінь захисту	IP 40
Т навколишнього середовища	0...+50°C
Т переносимого середовища	+5...+120°C (шаровий кран)
Т зберігання	-30...+80°C
Вологість	Відповідає EN 607301
Електромагнітна сумісність	Відповідає 89/336/ЕЕС по СЕ
Технічне обслуговування	Не потрібне
Вага	0,5 кг

3.4 Теплообчислювач СВТУ-10М

Теплообчислювач СВТУ -10М (рис.3.16) призначений для:

а) вимірювання каналом обчислення відпущеної або спожитої теплоти, обсягу теплоносія, температури теплоносія у “подаючому” і “зворотному” трубопроводах, надлишкового тиску теплоносія або води, часу роботи (наявності напруги в мережі живлення і коректної роботи) або простою (відсутності напруги в мережі живленні), а також обчислення маси (масової витрати) теплоносія;



Рис. 3.16. Теплообчислювач СВТУ-10М

б) вимірювання каналом виміру витрати обсягу холодної або гарячої води, її температури, часу наробітку або простою;

в) вимірювання каналами виміру температури й тиску відповідно, у трубопроводах на яких встановлені датчики температури й тиску;

г) індикації (залежно від конфігурації лічильника) перерахованих вище виміряних і обчислених фізичних величин, а також теплової потужності, об'ємної витрати теплоносія або об'ємної витрати води, надлишкового тиску теплоносія або води.

д) для визначення обсягу холодного й/або гарячого водопостачання імпульсним каналом виміру витрати.

Теплообчислювачі можуть експлуатуватися в наступних умовах:

- а) атмосферному тиску від 84.0 до 106.7 кПа;
- б) відносної вологості не більше 95 %;
- в) напрузі від 187 до 242 У, частотою (50 ± 1) Гц;
- г) або напрузі (36 ± 5.4) В, частотою (50 ± 1) Гц;
- д) або напрузі (24 ± 3.6) В, частотою (50 ± 1) Гц;
- е) синусоїдальної вібрації в діапазоні частот від 5 до 35 Гц амплітудою до 0.35 мм;
- ж) впливі зовнішніх змінних магнітних полів із частотою живлення мережі й напруженістю до 40 А/м.

Конструкція обчислювача забезпечує можливість зберігання в пам'яті й виведення по стандартному інтерфейсі RS-232C архівних даних про вимірянні значення теплової енергії й обсягу(маси) теплоносія (води), часу роботи й простою, а також про середні обмірювані значення температури:

- за годину - протягом 70 попередніх діб (погодинний архів);
- за добу - протягом 1 попереднього року (подобовий архів).

Лічильники мають вихідний сигнал інформаційного зв'язку по стандартному інтерфейсі RS-232C, що дає можливість безпосереднього підключення до приладу відповідних зовнішніх пристроїв (комп'ютера, принтера, модему та ін.).

На рис. 3.17 наведено схему обробки і передачі даних за допомогою персонального комп'ютера або ноутбука. Також можливий друк інформації з теплолічильника на паперові носії. За допомогою модему можлива передача даних на розподільний пункт, або у фірму постачальника послуг.

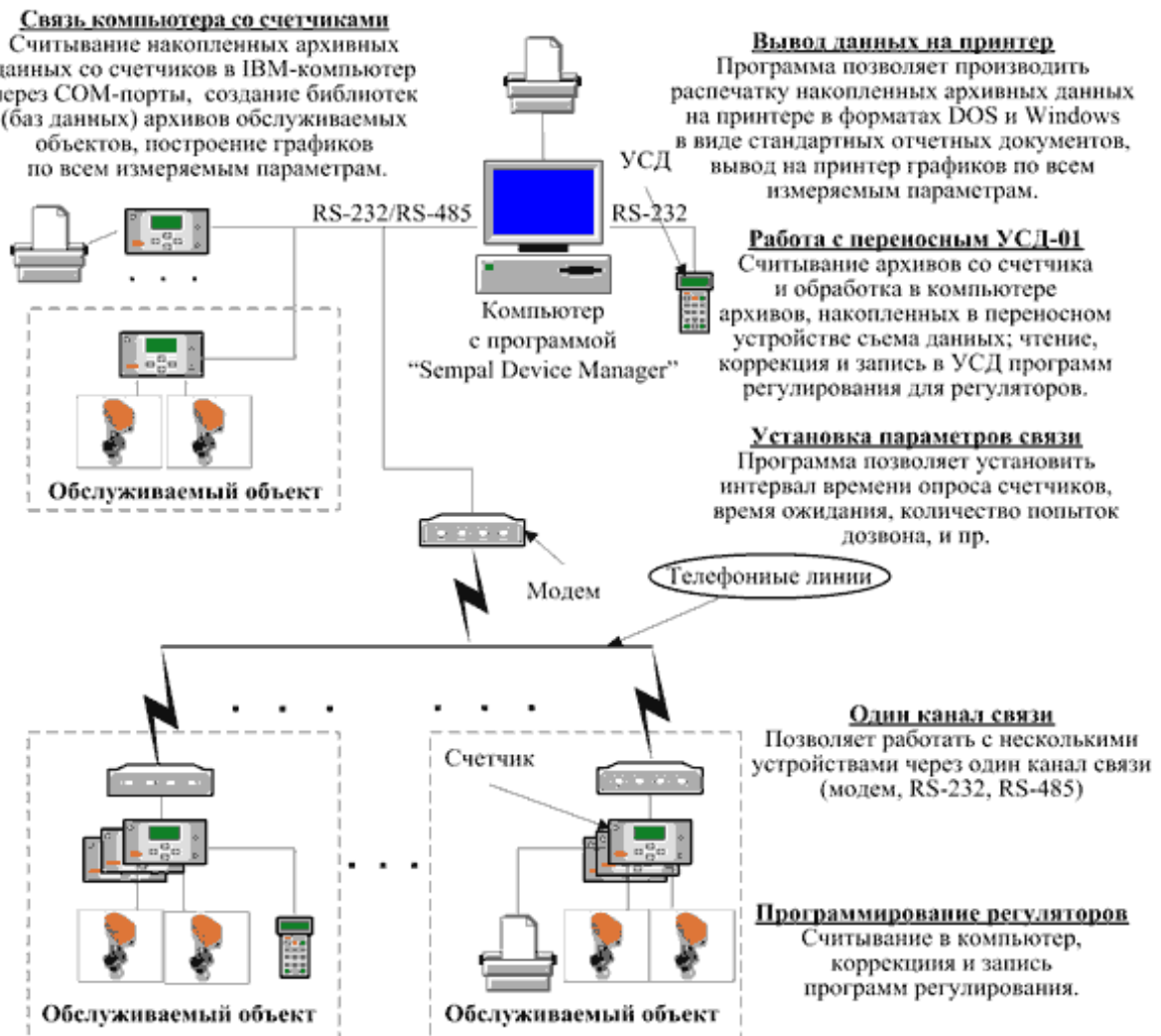


Рис.3.17. Використання програми “SEMPAL Device Manager”

для організації автоматизованого віддаленого обліку тепловодоспоживання.

Також теплолічильник має можливість моделювати температурні режими на ділянках трубопроводу, що дає можливість використовувати

холодний носій, що спрощує конструкцію лабораторно-учбового стенду “СЕМПАЛ”, та дає можливість економити енергію (рис.3.18).

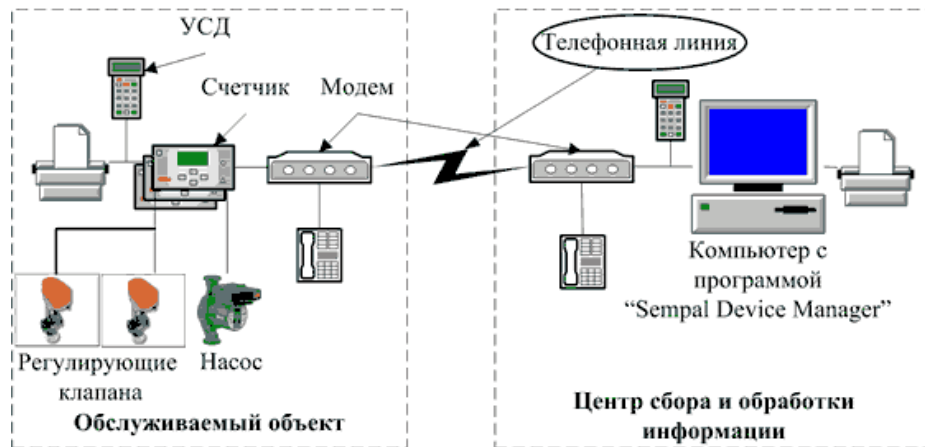


Рис.3.18. Схема обробки і передачі даних

3.5 Ультразвуковий лічильник

Ультразвуковий лічильник (рис.3.19) вимірює витрату на основі вимірювання часу розповсюдження імпульсів ультразвукового коливання крізь рідину, що рухається. Різниця між часом розповсюдження ультразвукових імпульсів в прямому і зворотному напрямках щодо руху рідини пропорційна швидкості її потоку.



Рис. 3.19. Ультразвуковий лічильник

Збудження ультразвукових коливань здійснюється п'єзоелектричними перетворювачами (ПЕП), що розташовуються на ділянці трубопроводу, в якому проводиться вимірювання витрати рідини. Залежно від установки ПЕП щодо перетину потоку, швидкість останнього вимірюється по двох або одному промінню ультразвукових коливань.

Принцип дії. Ділянка трубопроводу з ПЕП, встановленими на його діаметрально протилежних сторонах (рис. 3.20), утворює первинний ультразвуковий перетворювач витрати (УПВ). В однопроменевому УПВ встановлюються два ПЕП, які розміщуються на вісі, що проходить крізь діаметр поперечного перетину УПВ.

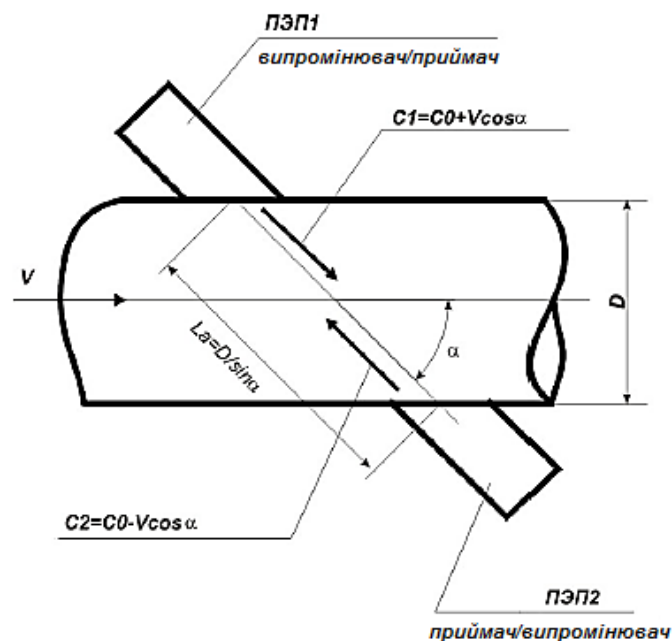


Рис. 3.20. Принцип дії УЗ лічильника

Двопроменевий УПВ містить дві пари ПЕП, які розміщені на вісях паралельних одна одній і проходячих крізь рівні хорди поперечного перетину. Вісі установки ПЕП розміщуються під кутом до вісі УПВ або співпадають з нею (тільки в однопроменевому УПВ).

Застосування:

1. Лічильник води призначений для вимірювання витрати об'єму питної чи технічної води до максимальної температури $+150^{\circ}\text{C}$. При зниженні витрати менш ніж Q_{min} метрологічні характеристики не нормуються. Мінімальний надлишковий тиск води в місці вимірювання повинно відповідати втратам тиску лічильника води при даній витраті.

2. Після монтажу лічильника необхідно впускати воду в трубопровід таким чином, щоб повітря що виходить з нього, не призводило до роботи відлікового механізму.

3. Лічильник води не потребує під час експлуатації технічного обслуговування.

4. Лічильник з імпульсним виходом можуть застосовуватися як первинні перетворювачі витрати в складі автоматизованих систем обліку та дозування води.

Вказівки з експлуатації

1. Нормальна робота лічильників можлива тільки в тому випадку, якщо їхній монтаж виконаний у відповідності з паспортом.

2. При експлуатації лічильників слід враховувати, що при витратах води менших ніж Q_{min} та протіканню води у зворотньому напрямку похибка лічильників не нормується.

3. При експлуатації, лічильники не повинні зазнавати гідроударів.

4. Забороняється проведення зварювальних робіт поблизу місць монтажу лічильників.

5. При зніманні показів з лічильників слід керуватися відомостями, наведеними вище.

6. В процесі експлуатації необхідно:

- візуально перевіряти герметичність в місцях монтажу лічильників;
- протирати лічильники від бруду і пилу, стежити за цілісністю пломб.

У випадках, коли вода проходить крізь лічильники, а показання відлікового пристрою не змінюється, необхідно терміново звернутися в спеціалізовану ремонтну організацію.

7. Умови експлуатації лічильників:

- температура навколишнього повітря від 4 до 50 °С;
- відносна вологість повітря до 80 %.

3.6 Термоперетворювачі “СЕМПАЛ” ТСП-С

Термоперетворювачі фірми “СЕМПАЛ” ТСП-С (рис.3.21) базуються на методі вимірювання температури внаслідок зміни опору чутливого елемента (платинового).



Рис. 3.21. Термоперетворювач “СЕМПАЛ” ТСП-С

Порядок встановлення датчиків температури (ДТ):

1. Термоперетворювачі опору платинові виробництва фірми “СЕМПАЛ” ТСП-С в трубопровід можуть встановлюватися в двох варіантах:

а) шляхом вгвинчування втулки (бобишки) першого типу, ввареної у трубопровід, для безпосереднього контакту теплоперетворювача опору (ТПО) з теплоносієм;

б) шляхом вгвинчування у захисні гільзи, які, в свою чергу, вгвинчуються у втулки (бобишки) другого типу, вварених у трубопровід, для контакту з теплоносієм крізь захисну гільзу.

2. При виборі способу монтажу ТПО у трубопровід слід враховувати, що для забезпечення максимальної точності вимірювання температури чутливий елемент ТПО повинен знаходитися якомога ближче до вісі трубопроводу. Передбачено три типи ТПО довжиною 58, 80 і 150 мм і варіанти їх установки за кутом нахилу, що забезпечують виконання зазначеної вимоги при монтажі ТПО у трубопроводи різних діаметрів. Кут нахилу і глибина занурення ТПО забезпечується використанням втулок (бобишок), конструкція яких визначається DN трубопроводів. Варіанти монтажу ТПО наведені на рис. 3.22. Варіанти монтажу ТПО в трубопровід з використанням захисних гільз наведені на рис. 3.23.

3. Місце для монтажу на трубопровід кожного ТПО з комплекту поставки визначається схемою установки лічильника. ТПО, що вимірює температуру теплоносія або води, які протікають крізь (витратомірну ділянку (ВД) з ультразвуковими датчиками витрати), повинен бути встановлений поблизу ВД Відстань між ТО і обчислювачем не повинно перевищувати 100 м.

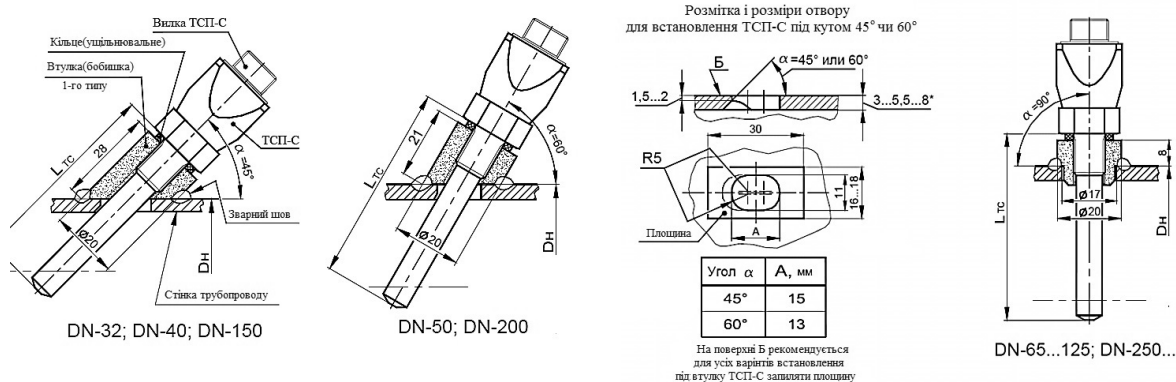


Рис. 3.22. Установка ТСП-С без захисної гільзи

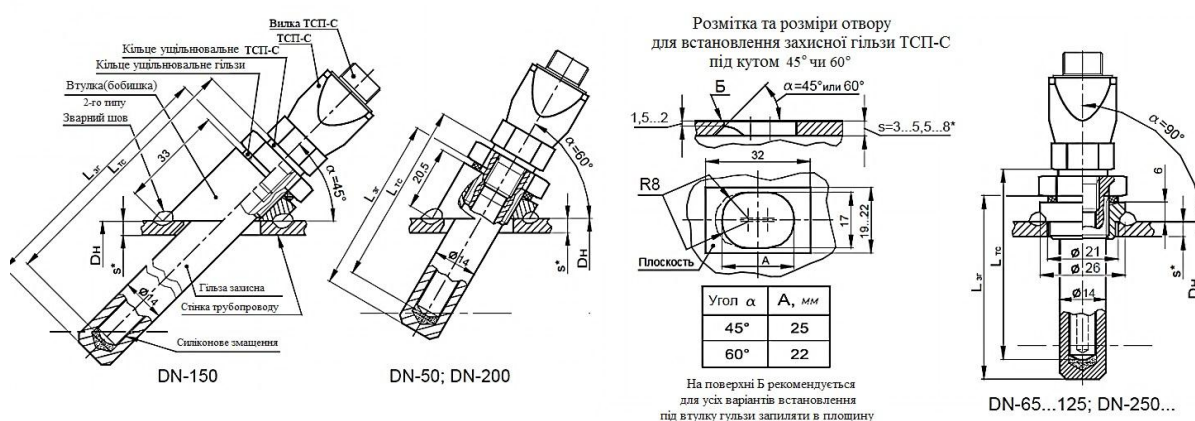


Рис. 3.23. Установка ТСП-С з захисною гільзою

При монтажі ТПО після ВД відстань від втулки до ВД повинна бути не менше 5 DN, а при монтажі перед ВД - не менше 10 DN.

Після приварювання втулки, різблення в ній необхідно обробити мітчиком M10x1.5 або M16x1.5 (залежно від типу втулки).

При установці ТПО під кутом 45° або 60° необхідно просвердлити отвір діаметром 10 мм (16 мм для захисної гільзи) і розпиляти до необхідного овалу в залежності від товщини стінки труби.

Ущільнювальну поверхню втулки необхідно оберегти від бризок розплавленого металу при зварюванні.

Перед установкою ущільнювальної прокладки (фторопластового кільця) ущільнюючу поверхню втулки змазати матилом ЦИАТИМ 221.

При вгвинчуванні ТПО під втулку, зусилля, що прикладається до ключа довжиною 200 мм, повинно бути не більше 5 кг, і забезпечувати герметичне ущільнення. Не допускається деформація фторопластовою прокладки типу «видавлювання» з проміжку між ущільнювальними поверхнями ТПО і втулки.

Після остаточної установки ТПО у трубопровід, втулка і зовнішня металева частина ТПО повинні бути теплоізованими від навколишнього середовища.

Перед вгвинчуванням ТПО у захисну гільзу необхідно переконатися в чистоті гільзи і заповнити її на 1/8 обсягу високотемпературним силіконовим мастилом будь-якого типу.

Типи, розміри і маса термоперетворювачів “СЕМПАЛ” ТСП-С наведені у табл. 3.5. Градувальна характеристика датчиків термоперетворювачів “СЕМПАЛ” ТСП-С наведена у табл. 3.6.

Габаритні розміри термоперетворювача “СЕМПАЛ” ТСП-С наведені на рис. 3.24.

Таблиця 3.5 Типи, розміри і маса термоперетворювачів “СЕМПАЛ” ТСП-С

Тип ТС	Довжина , мм, не більше		Маса, кг, не більше	Примітка
	L _{ТС}	L		
4	58	86	0,06	Приміняються в залежності з DN трубопроводу відповідно до рис. 3.22, 3.23
2	80	108	0,08	
3	150	178	0,1	

Таблиця 3.6 Градувальна характеристика датчиків термоопор

	0°	20°	45°	50°	100°	150
ТСП 5050	99,849	107,622	117,274	119,196	138,254	157,025
ТСП 5051	100,024	107,822	117,505	119,433	138,553	157,384

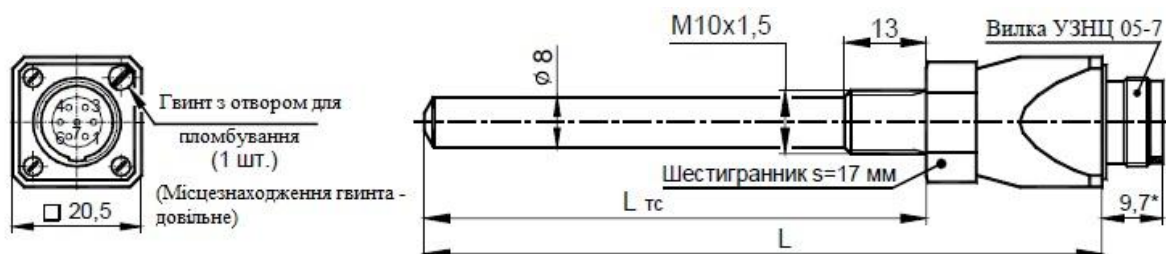


Рис. 3.24. Габаритні розміри термоперетворювача “СЕМПАЛ” ТСП-С

3.7 Радіальний манометр “CEWAL”

Манометри компанії “CEWAL” призначені для вимірювання тиску у системах водопостачання, тепло- і холодопостачання, де в якості технологічної рідини використовується вода. Манометри виконані у пластиковому корпусі і мають латунний штуцер (рис.3.25).



Рис. 3.25. Вигляд манометру “CEWAL”

Технічні характеристики:

– межі вимірювання манометрів 0-6, 0-10 та 0-16 бар дозволяють використовувати їх в системах з різним робочим тиском;

- діаметр корпусу манометра $\varnothing 63\text{мм}$, $\varnothing 80\text{мм}$ і $\varnothing 100\text{мм}$;
- розташування штуцера радіальне;
- клас точності 2,5.

Наявність спеціальної стрілки, дає можливість вказати гранично допустимі робочі режими гідравлічної схеми і візуально контролювати їх, що є додатковим плюсом у використанні манометрів даного типу.

3.8 Запобіжні мембранні клапани тиску SYR-Hans Sasserath & Co

Запобіжні перепускні мембранні клапани тиску призначені для захисту трубопроводу від тисків вище допустимих (рис.3.26 - 3.27).

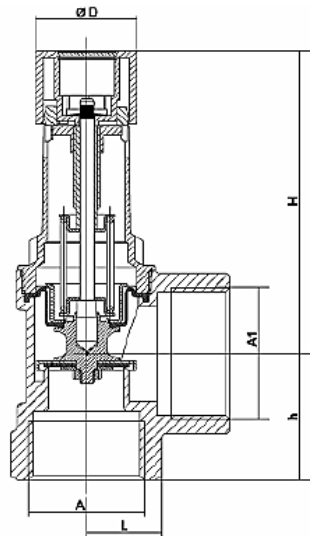


Рис. 3.26. Вигляд клапану SYR Рис. 3.27. Габаритні розміри клапану

Робоче середовище: вода та ін. неагресивні рідини, стиснене повітря.

Головні переваги клапанів:

- діаметр вихідного патрубку виконаний на один стандартний типорозмір труби більше вхідного, що зменшує вимоги до конструкції відповідної труби;

- замикаючий елемент відокремлений від робочого простору пружини мембраною;
- має функцію промивання сидла клапану;
- має релейну характеристику.

Технічні характеристики клапану SYR представлені в табл. 3.7 - 3.8.

Таблиця 3.7. Технічні характеристики клапану SYR

Модель	2115	1915
Колір колпачка	синій	червоний
T _{max} робочого середовища	110°C	140°C
Номинальні діаметри	DN 15...50	
Номинальний тиск, бар	PN 16	
X-ка спрацьовування	6,0;8,0;10	2,5;3,0;6,0;8,0;10
Тип приєднання	Внутрішня трубна циліндрична різьба ГОСТ 6351-81	
Матеріали головних вузлів		
Корпус і клапан	Латунь	
Мембрана і ущільнення клапану	температуростійкі еластоміри	
Пружина	Нержавіюча сталь	

Таблиця 3.8. Габаритні розміри клапану SYR

Позначення	DN					
	15	20	25	32	40	50
A, дюйми	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2
A ₁ , дюйми	3/4	1	1 1/2	1 1/2	2	2 1/2
L, мм	35	38	47	53	70	75
H, мм	46	48	79	110	136	195
h, мм	28	34	40	46	55	66
D, мм	31	31	49	51	75	75
Маса, кг	0,2	0,29	0,5	0,85	2,7	3

Вказівки по застосуванню. Запобіжні перепускні клапани встановлюються вертикально у найвищій точці системи. Максимальна довжина вхідного патрубку 1м і його переріз повинен дорівнювати вхідному діаметру корпусу клапана. На вхідному патрубку не повинно бути ніяких пристроїв, які могли б перекрити вхідний патрубок (у тому числі й фільтри). Відвідна труба повинна бути запроектована з розрізом, рівним діаметру вихідного патрубку корпусу клапана, її довжина не повинна перевищувати 2 м і кількість колін в трубі має бути не більше двох. Якщо потрібна більша кількість колін або довша відвідна труба, то діаметр труби повинен бути збільшений на один типорозмір. При цьому довжина труби не повинна перевищувати 4 м, кількість колін - не більше 3-х. Відвідна труба повинна бути спадаюча.

В процесі експлуатації може спостерігатися постійний потік води з малою витратою через відвідну трубу. Це відбувається через забруднення клапанного отвору. Для змивання забруднення необхідно кілька разів повернути головку клапана у напрямку стрілки, нанесеної на кришці головки.

При випробуваннях систем, коли значення тиску може значно перевищувати тиск спрацьовування клапана, клапан необхідно демонтувати, а підвідний трубопровід заглушити.

3.9 Фільтр сітчастий

Сітчасті фільтри (рис. 3.28) застосовуються у комерційних та промислових спорудах в межах їх технічних можливостей. Фільтри захищають системи від аварій та корозійних ушкоджень, що виникають внаслідок проникнення сторонніх предметів (частинок після зварювання, ущільнюючих матеріали, металевої стружки, іржі). Це подовжує термін

служби систем, що монтуються після фільтру та запобігає завчасному виходу з ладу.

Габаритні розміри сітчастого фільтру наведені на рис. 3.29 та в табл. 3.9.



Рис. 3.28. Зовнішній вигляд сітчастого фільтру

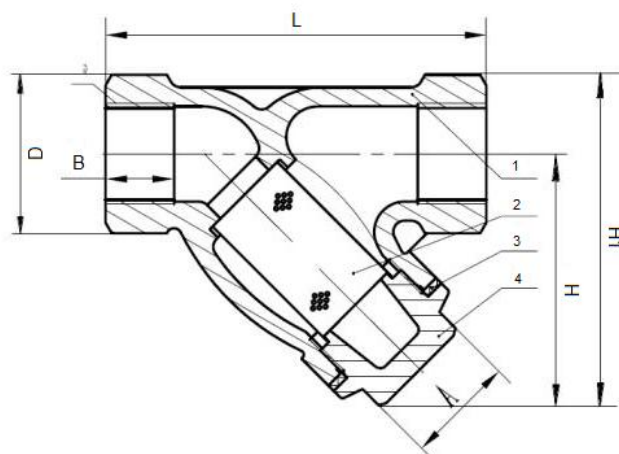


Рис. 3.29. Габаритні розміри сітчастого фільтру: 1 – корпус, 2 – сітка, 3 – прокладка кришки фільтру, 4 – кришка фільтру

Таблиця 3.9. Габаритні розміри сітчастого фільтру

Ду/DN	15 1/2"	20 3/4"	25 1"	32 1-1/4"	40 1-1/2"	50 2"
Температура, °С мінімальна/максимальна/робоча	-20°/200°/180°					
Різьба: трубна циліндрична, BSP(P), G"	1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"
L-будівельна довжина, мм	85	100	120	140	160	205
H- будівельна висота (від вісі труби), мм	66	66	75	77	90	98
H1- габаритна висота, мм	81	84	98	105	121	136
A - розмір кришки фільтру під ключ, мм	25	25	31	31	41	41
D, мм	30	36	46	55	62	76
B - глибина різьби , мм	16	18	18	19	19	21
Розмір габаритний сітки фільтру	ø24 x43	ø24 x43	ø29 x49	ø30 x53	ø38 x67	ø38 x67
Вага, кг /шт.	0,520	0,710	1,070	1,500	2,400	3,600

Технічні характеристики сітчастого фільтру наведені у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 Технічні характеристики сітчастого фільтру

Середовище застосування	вода, мастило, стиснене повітря, пар та інші неагресивні середовища
Матеріал корпусу	червона бронза RG5
Тип з'єднання	внутрішня різьба
Максимальна робоча температура, °C	150
Статичний тиск	PN16
Розмір сітки, мм	0,25
Монтажне положення	горизонтальне чи вертикальне
Додаткова інформація	малий опір потоку (гідродинамічна конструкція корпусу); стійкість до корозії (використані латунь та нержавіюча сталь); висока здатність затримки забруднень (велика площа поверхні сітчастого елемента); гарна герметизація (використаний тримач сітчастого фільтра)

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 “СЕМПАЛ”; 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 перевірку 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°С і діапазоном вимірювання температур 0 – 100°С 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°С для холодноводних лічильників, від плюс 10 до плюс 30°С для гарячеводних лічильників;
 - температура оточуючого повітря від плюс 5 до плюс 50°С;
 - відносна вологість повітря від 30 до 80%;
 - атмосферний тиск від 84 до 106,6МПа (0,84 до 1,07кгс/см²);
 - відсутність вібрації, тряски та ударів, що впливають на роботу лічильника;
 - зміна температури води за час повірки не більше за -5°С.
- 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 повірки 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 напрямком 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.

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

Порядок виконання роботи:

- а) ознайомитись з конструкцією вимірювального стенду [4];
- б) визначити лічильник, який буде зразковим;
- в) записати початкові показання всіх лічильників;
- г) ввімкнути стенд;
- д) через рівні проміжки часу записати показання лічильників для п'яти витрат, що встановлюються насосом до табл. 4.1;

Таблиця 4.1

Режим насосу	Зразковий лічильник			Лічильник 1, що повіряється		Лічильник 2, що повіряється	
	Покази	V, м ³	Q, м ³ /год	Q, м ³ /год	γ, %	Q, м ³ /год	γ, %
0							
1							
2							
3							
...							

е) на підґрунті отриманих даних визначити витрати рідини, зафіксовані у всіх точках зняття показань;

ж) визначити приведену похибку лічильників, що повіряються, за виразом (4.1):

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

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

- з) побудувати графік залежності $\gamma(Q)$ приведеної похибки

лічильників, що повіряються, в залежності від витрати, визначеної за допомогою зразкового лічильника;

и) зробити висновки [5-31].

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

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

Контрольні запитання:

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

4.2 Лабораторна робота № 2

Тема роботи: Гідравлічні розрахунки системи постачання теплової енергії

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

Теоретичні відомості

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

Таблиця 4.2. Густина води, залежно від температури

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

Діаметр трубопроводу d визначається за рівнянням витрати (4.2):

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

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

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

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

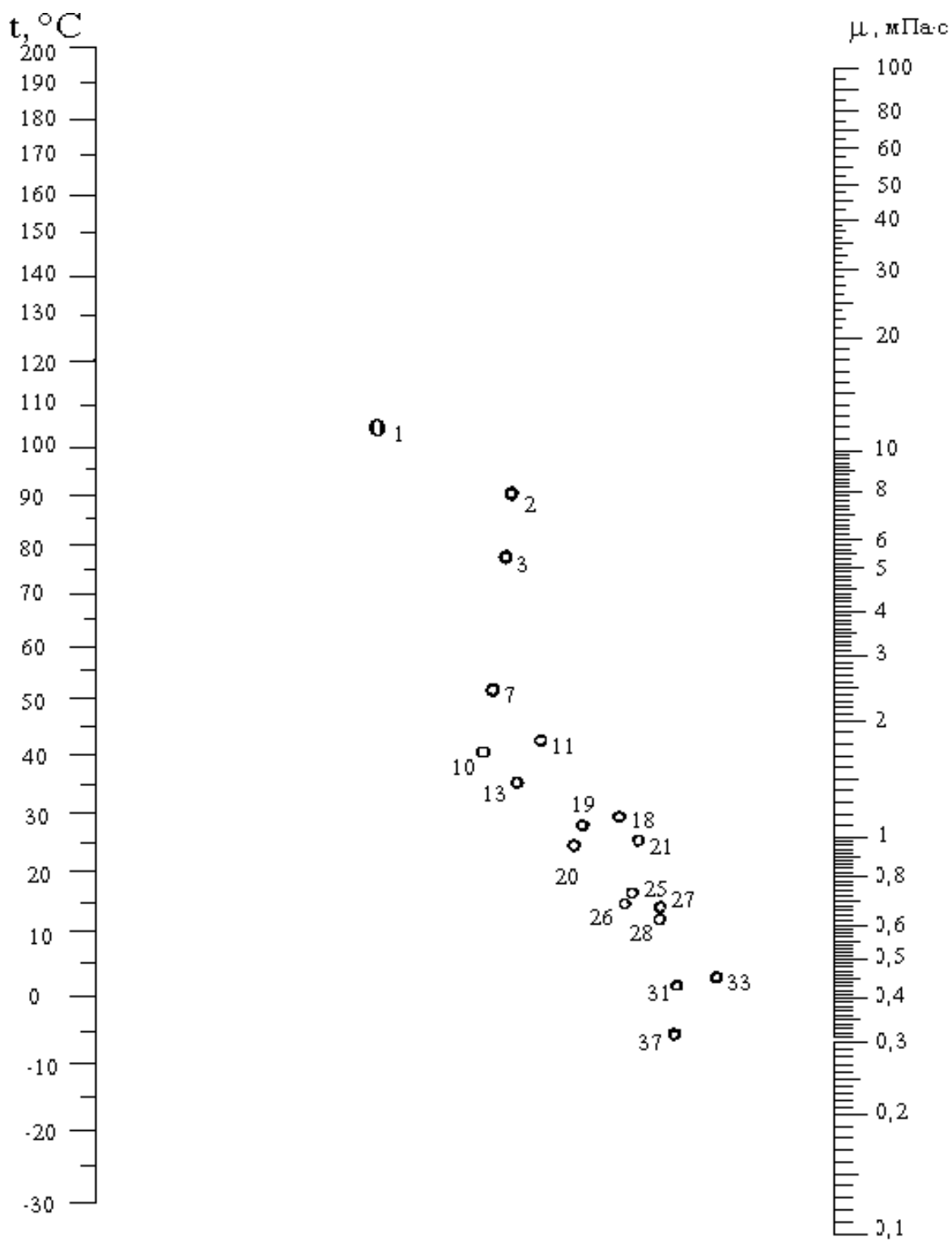


Рис.4.1. Номограма для визначення динамічного коефіцієнту в'язкості води за різних температур

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:

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

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	2	3
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

Продовження табл.4.3

1	2	3
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:

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

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/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}	$0,5 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{d_{max}} \right)^2 \right]$

Продовження табл.4.3

1	2	3
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	$0,42/(\sqrt{R/d})$
	– 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

Продовження табл.4.3

1	2	3
	– 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 вимірювального стенду;
- б) детально ознайомитись з основними приладами та запірною арматурою;
- в) зробити заміри частин стенду та накреслити його схему;

- г) записати початкові показання всіх лічильників стенду;
- д) увімкнути стенд;
- е) провести заміри для п'яти режимів швидкості насоса. Дані записати до табл. 4.5;
- ж) розрахувати гідравлічний опір труб;
- з) розрахувати місцеві гідравлічні опори;
- и) розрахувати швидкість потоку, втрату тиску;
- к) побудувати графік залежності втрати тиску від витрати;
- л) зробити висновки.

Таблиця 4.5 Результати досліджень

Режим насосу	Покази	$V, \text{м}^3$	$Q_{\text{розр}}, \text{м}^3/\text{ГОД}$	$Q_2, \text{м}^3/\text{ГОД}$	$Q_3, \text{м}^3/\text{ГОД}$	$Q_{\text{сер}}, \text{м}^3/\text{ГОД}$	$v, \text{м/с}$	$\Delta P, \text{Па}$
Початкові дані								
1								
2								
3								
4								
5								

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

- мета роботи;
- гідравлічна схема стенду;
- короткий опис роботи стенду та його елементів;
- завдання досліджень;
- результати вимірювань;
- обробка результатів вимірювання;

- графічні залежності;
- аналіз отриманих результатів та висновки.

Контрольні запитання:

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

4.3 Лабораторна робота №3

Тема роботи: Вимірювання витрати та кількості теплової енергії

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

Теоретичні відомості

Загальна постановка проблеми. Системи обліку тепла є необхідними та важливими, як для споживачів тепла, так і його постачальників. Першорядним критерієм якості систем 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 теплопостачання є можливість місцевого регулювання в системах квартирної опалювання і гарячого водопостачання. Проте експлуатація джерела теплоти і всього комплексу допоміжного устаткування квартирної системи теплопостачання мешканцями не завжди дає можливість повною мірою використовувати цю перевагу. Останні дослідження показали, що існує необхідність контролю втрати тепла в кожній квартирі, щоб не привертати ремонтно-експлуатаційну організацію для обслуговування джерел теплопостачання, облаштувати квартири ультразвуковими 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 теплопостачання. (рис.4.2).

Кількість теплоти, підведеної до тіла або відведеної від нього, можна визначити за відомими значеннями його маси, питомої теплоємності та за зміною температури. У теплोलічильнику 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 теплोलічильник; Δh – різниця значень питомої

ентальпії теплоносія у прямому і зворотному потоках; t – тривалість часу вимірювання.



Рис. 4.2. Система опалення будівлі

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, тепловілічильники 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 теплолічильника [46-50].

Порядок виконання роботи:

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

Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

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

Таблиця 4.6 Результати досліджень

Режим насосу	$T_{1вх},$ °C	$T_{1вих},$ °C	$V, м^3$ (покази)	$Q,$ $м^3/год$	$t,$ с	$G,$ Gcal	$G_{роз},$ Gcal	$\gamma,$ %
Поч.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 у 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 мезових 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. “СЕМПАЛ” // [Персональна сторінка компанії] / ТОВ. [Київ, 2002-2015]. – Режим доступу: <http://www.sempal.com/>. — Назва з екрану.
5. “Техприлад” // [Персональна сторінка компанії] / Інжинірінгова компанія. [Київ, 1994-2015]. – Режим доступу: <http://www.techprilad.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. – 160 с.
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. – 754 с.
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 метрологи [Текст] / Г. Д. Бурдун, Б. Н. Марков. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 256 с.
29. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 382 с.
30. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1981. – 516 с.
31. Загавура Ф.Я. Витратометрія [Текст] / Ф.Я.Загавура, О.М.Безвесільна –К.:Либідь, 1996. – 184 с.
32. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей [Текст] / Р. Рид, Дж. Т. Праустинц, Шервуд. – Л.: Химия, 1982. – 591 с.

33. Бретшнайдер, С. Свойства газов и жидкостей. Инженерные методы расчета [Текст] / С. Бретшнайдер. – М.: Химия, 1966. – 536 с.
34. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
35. Повх, И. Л. Техническая гидромеханика [Текст] / И. Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1976. – 504 с.
36. Бэтчелор, Дж. Введение в динамику жидкости [Текст] / Дж. Бэтчелор. – М.: Мир, 1973. – 760 с.
37. Кулінченко, В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід [Текст]: підручник / В. Р. Кулінченко. – К.: Фірма «ІНКОС». Центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
38. Рабинович, Е. З. Гидравлика [Текст] / Е. З. Рабинович. – М.: Физматгиз, 1961. – 408 с.
39. Альтшуль, А. Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах [Текст] / А. Д. Альтшуль. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 256 с.
40. Слезкин, Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости [Текст] / Н. А. Слезкин. – М.: Машгиз, 1955. – 458 с.
41. Идельчик, И. Е. Справочное пособие по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И. Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 543 с.
42. Абрамович, Г. Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г. Н. Абрамович. – М.: Физматгиз, 1960. – 715 с.
43. Альтшуль, А. Д. Гидравлические потери на трение в трубопроводах [Текст] / А. Д. Альтшуль. – М. –Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 256 с.

44. Большаков, В.А. Гидравлика [Текст]: учеб. / В.А. Большаков, В.Н. Попов. – К.: Вища школа, 1987. – 303 с.
45. Тарг, С. М. Основные задачи теории ламинарных течений [Текст] / С. М. Тарг. – М.–Л.: Гос. изд-во технико-теоретич. лит., 1951. – 420 с.
46. Пирков, В. В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення [Текст] / В. В. Пирков. – К.: ІІ ДП «Такі справи», 2003. – 176 с.
47. Тепловые сети [Текст]: СНиП 2.04.07-86. – Введ. 1988-01-01. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 48с.
48. Варгафник, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам жидкостей и газов [Текст] / Н. Б. Варгафник. – М.: Наука, 1972. – 720.
49. Федоров, В. В. Методы расчета теплофизических свойств газов и жидкостей [Текст] / В. В. Федоров, Ю. Н. Бочаров, Р. Л. Барашков и др. – М.: Химия, 1974. – 248 с.
50. Бошняк, Л. Л. Измерения при теплотехнических исследованиях [Текст] / Л. Л. Бошняк – Л.: Машиностроение, 1974. – 448 с.
51. Гришанова, І.А. Системи CAD/CAE. ANSYS FLUENT [Текст]: підруч. для вузів / І. А. Гришанова, І. В. Коробко. – К.: Дія ЛТД, 2012. – 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.