

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи

«ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ»

за курсом «Теплотехнічні вимірювання та прилади»
для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»
усіх форм навчання

Затверджено

редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 28.06.2023 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

Методичні вказівки до лабораторної роботи «Вимірювання витрати рідини» за курсом «Теплотехнічні вимірювання та прилади» для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання / уклад.: О. Р. Пересьолков, О. В. Круглякова. – Харків: НТУ «ХП», 2023. – 16 с.

Укладачі: О. Р. Пересьолков
О. В. Круглякова

Рецензент: Т. М. Пугачова

Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій

ВСТУП

Вимірювання витрати та кількості речовини відноситься до засобів контролю та підтримки матеріально-теплого балансу технологічного процесу, що сприяє забезпеченню необхідної економічності виробництва.

Вимірювання витрати рідини застосовується практично в усіх галузях промисловості, наприклад, у нафтохімічному виробництві, у комунальному господарстві, у харчовій галузі, медицині й т. і. В теплоенергетиці витрати теплоносіїв, таких як гаряча й холодна вода, пара, конденсат, холодоагенти, розчини тощо вимірюють як при експлуатації теплотехнічних установок, так і при їх випробуваннях. У комунальному господарстві в теплових мережах та у водовідведенні для комерційних розрахунків вимірюють витрати гарячої та холодної води. На нафтопереробних заводах вимірюють витрати паливно-мастильних матеріалів. У харчовій галузі необхідно вимірювати витрати напоїв, соків, вина, пива, рослинної олії, молока. У медицині вимірюють витрати ліків, розчинів, настоянок, вакцин тощо.

Розрізняють поняття лічильника об'єму рідини і витратоміру.

Лічильники реєструють об'єм рідини, який пройшов через прилад з моменту його пуску (наприклад, для комерційного обліку беруть різницю показань лічильника за звітний період часу).

Витратомір показує миттєве значення витрати рідини. Для комерційного обліку необхідно інтегрувати його показання в об'єм рідини, який пройшов через прилад.

Також розрізняють прилади з місцевими показаннями даних та прилади з перетворюванням змін параметрів датчика в електричний сигнал з наступною передачею його на вторинний прилад або виконавчий механізм.

Крім давно відомих і поширених приладів, в даний час в практику вимірювань витрат рідин та інших робочих тіл широко впроваджуються прилади нового покоління, такі як ультразвукові, вихрові, електромагнітні або індукційні витратоміри [1, с. 180–233; 2, с. 83–88].

У даній лабораторній роботі студенти мають вивчити та засвоїти практичне використання деяких способів та приладів для вимірювання витрати води.

1 КОРОТКИЙ ОПИС ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ЛАБОРАТОРНІЙ РОБОТІ

1.1 Вимірювання витрати рідини за перепадом тиску в стандартній дросельній діафрагмі

При протіканні рідини через дросельну діафрагму, як показано на рис. 1, підвищується швидкість потоку, тобто його кінетична енергія. При цьому зменшується потенційна енергія потоку, а, відповідно, і статичний тиск уздовж стінки труби.

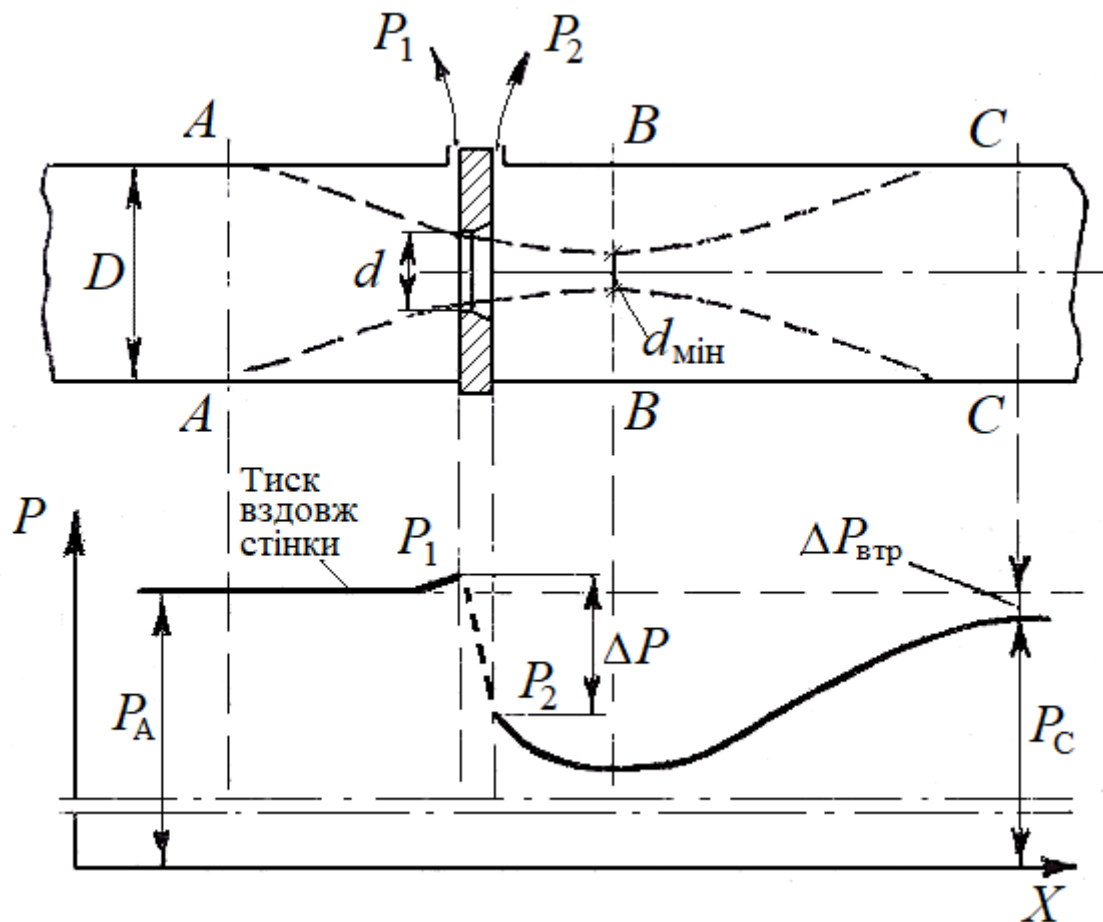


Рисунок 1. – Схема протікання рідини через вимірювальну дросельну діафрагму та вимірювання статичного тиску в потоці

Для стандартної дросельної діафрагми для певності прийнято вимірювати перепад тиску $\Delta P = P_1 - P_2$ безпосередньо у діафрагми (див. рис. 1). Перепад тиску ΔP залежить від витрати рідини через дросельну діафрагму.

Після проходження потоку через звужувальний отвір відбувається деяке зменшення діаметру струменя до $d_{\text{мін}}$ за діафрагмою. Однак при розрахунку

стандартної дросельної діафрагми для визначеності використовують значення діаметру отвору d .

Для стандартної дросельної діафрагми об'ємна витрата Q_0^D обчислюється за формулою:

$$Q_0^D = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт витрати діафрагми, визначається конструкцією діафрагми;
 ε – поправка на вимірювання густини середовища за рахунок розширення при проходженні через звужувальний прилад. Для крапельних рідин $\varepsilon = 1$.

F_0 – площа прохідного отвору діафрагми діаметром d , m^2 , $F_0 = \pi d^2/4$.

ρ – густина рідини, kg/m^3 .

P_1, P_2 – тиск перед і після дросельної діафрагми відповідно, Па.

Формула (1) є справедливою у діапазоні витрат, коли коефіцієнт витрат α залишається постійною величиною. Як встановлено експериментально, для різних параметрів конструкції діафрагми коефіцієнт α практично не змінюється при відносній витраті в діапазоні

$$(0,1 \div 0,3) < \frac{Q_0^D}{Q_{0 \max}^D} < 1,$$

де Q_0^D – об'ємна витрата рідини;

$Q_{0 \max}^D$ – максимальна розрахункова об'ємна витрата через дросельну діафрагму.

Для стабілізації потоку виконуються заспокійливі ділянки труби перед і після дросельної діафрагми з довжинами $L_1 = (10 \div 80)D$ та $L_2 = (4 \div 10)D$ відповідно (в залежності від параметрів звужувального приладу).

1.2 Вимірювання витрати рідини ротаметром

При русі рідини у вертикальній конічній скляній трубці, як показано на рис. 2, сила тяжіння поплавця (ротора) G врівноважується перепадом тиску до і після поплавок, динамічним напором рідини і силою тертя потоку о бічну поверхню поплавка, тобто $\sum F$. Зі збільшенням витрати поплавків піднімається вгору, при цьому збільшується площа кільцевого зазору $f_{к.з}$ і поплавків «зависає» в новому положенні.

Положення поплавка залежить від витрати рідини через ротаметр Q_0^p . На конічній трубці нанесена шкала від 0 до 100 поділок n .

Ротаметри є приладами індивідуального тарування. Заводська паспортна градувальна характеристика ротаметра РМФ-2,5, який використовується в лабораторній роботі, наведена на рис. 3.

Завдяки індивідуальному градуванню ротаметр має досить високу точність вимірювання, тому також використовується як перевірочний для побутових лічильників води та природного газу.

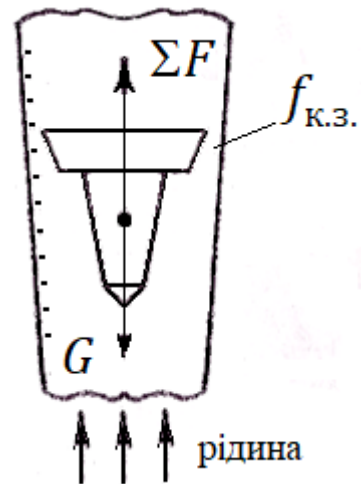


Рисунок 2 – Схема ротаметра

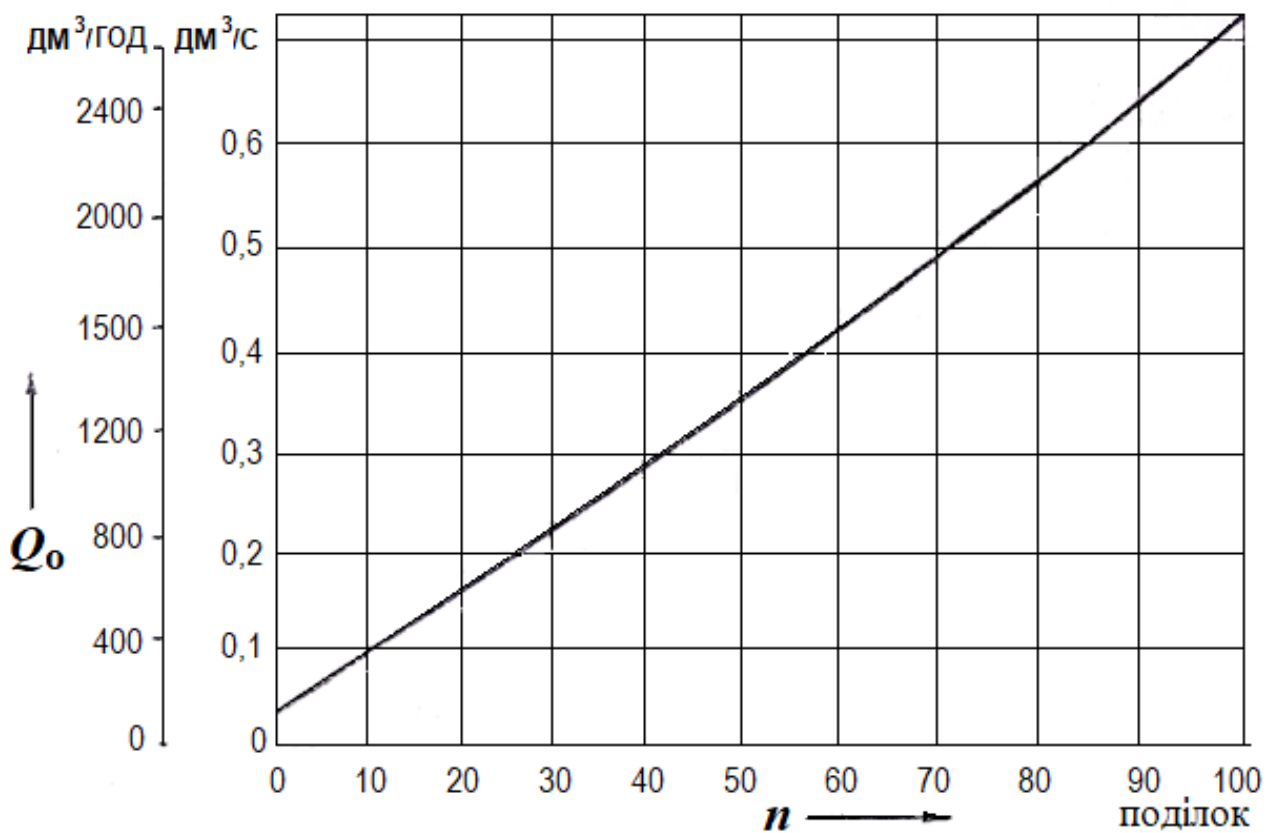


Рисунок 3 – Градувальна характеристика ротаметра РМФ-2,5

1.3 Вимірювання витрати за допомогою тахометричного лічильника об'єму рідини

При протіканні рідини через тахометричний лічильник (рис. 4) число обертів його турбінки є пропорційним об'єму рідини, що пройшла через лічильник.

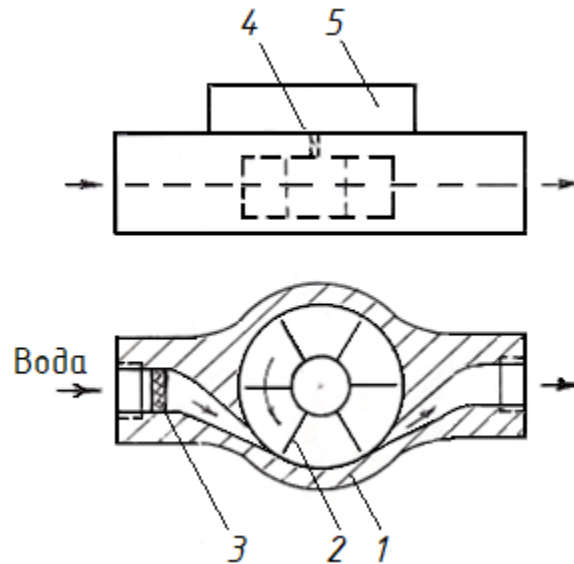


Рисунок 4 – Схема тахометричного турбінного лічильника об'єму води:
1 – корпус; 2 – ротор турбінки з радіальними лопатками; 3 – фільтр; 4 – валик передачі обертання ротора турбінки на відліковий механізм; 5 – годинний відліковий механізм

Обертання ротора турбінки передається через систему шестерень на циферблат, градуйований в кубічних метрах об'єму води, що пройшла через прилад з моменту його пуску. Об'єм води за звітний період – це різниця показань в кінці і на початку періоду.

При використанні лічильника об'єму можна розрахувати середню об'ємну витрату Q_0^{T-L} за час вимірювання. Для цього необхідно різницю показань об'єму за циферблатом лічильника розділити на час, який минув між вимірами цих показань.

У лабораторній роботі результати вимірювань витрати води різними приладами порівнюються із показаннями витрати, яка визначається ваговим способом, який прийнято за еталонний. Цей спосіб полягає у вимірюванні маси води, що проходить через установку за час, що вимірюється секундоміром. Вода відбирається у ємність. Після зважування визначається масова витрата води, яку також можна перерахувати в об'ємну шляхом ділення на густину води при її температурі.

Слід зазначити, що для кожного вимірювального приладу в діапазоні

реєстрації його показань ділянка на початку діапазону має підвищену похибку вимірювання. Як правило, на практиці рекомендується використовувати вимірювальні прилади при номінальних режимах їх експлуатації, крім 20–30 % початку діапазону. Але у даній лабораторній роботі не ставиться завдання досліджувати цю особливість вимірювання для приладів, що розглядаються, тому вимірювання витрати води проводяться з метою порівняння особливостей та можливостей кожного з використовуваних приладів при відносних витратах води $Q_{oi}/Q_{o \max} \approx 0,4 \div 0,6$.

2 ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка (рис. 5) складається з кількох пристроїв для вимірювання витрати рідини, які включені послідовно.

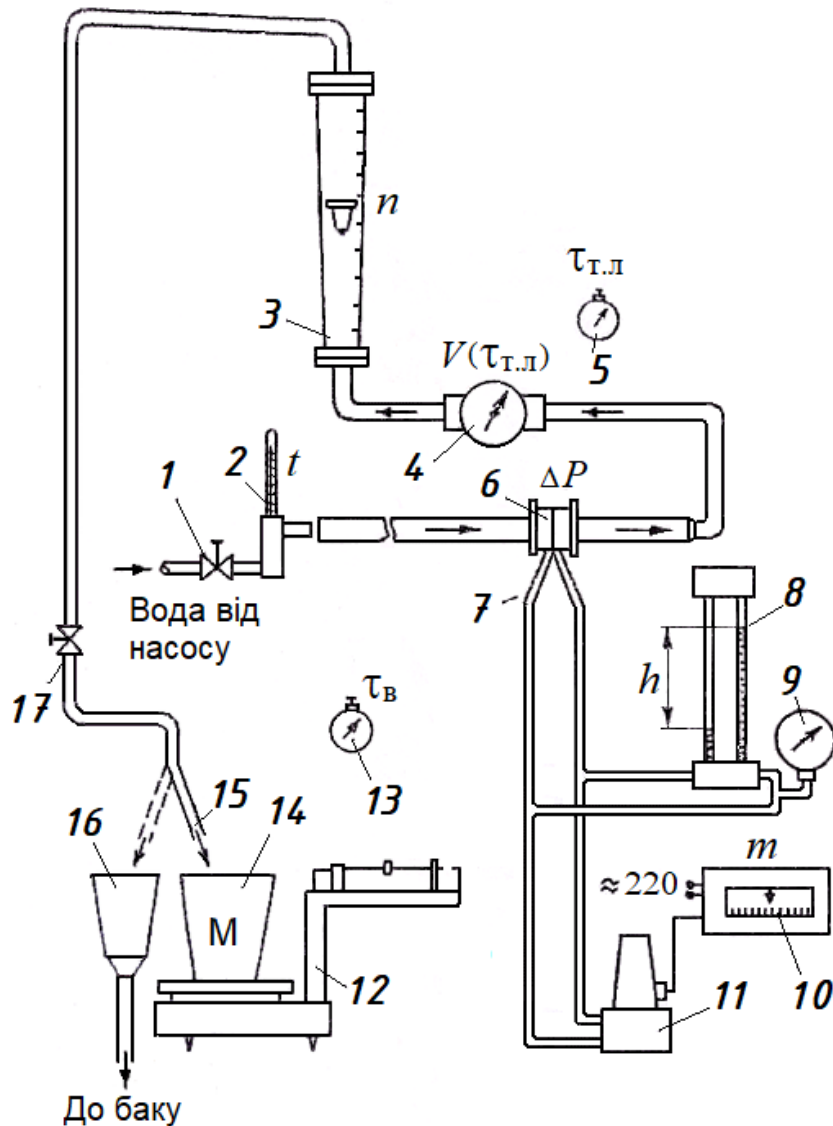


Рисунок 5 – Схема лабораторної установки

Вода від насоса по шлангу надходить до регулювального вентиля 1, потім проходить через гільзу термометра 2 і надходить у пряму заспокійливу ділянку труби перед стандартною дросельною діафрагмою 6. При проходженні води через звужувальний пристрій–діафрагму виникає місцевий перепад тиску ΔP , який залежить від витрати. Дросельна діафрагма розрахована на максимальну витрату води $Q_{o\max}^d = 3 \text{ м}^3/\text{год}$, що відповідає перепаду тиску $\Delta P_{\max} = 400 \text{ мм вод. ст.}$

Перепад тиску на діафрагмі в роботі вимірюється одночасно двома приладами, підключеними паралельно за допомогою імпульсних трубок 7. Перший – це **двотрубний диференціальний рідинний манометр** 8 типу ДТ-5, встановлений в перевернутому положенні. При цьому по імпульсних трубках вода підходить знизу і використовується як манометрична рідина. Повітря, що знаходиться вгорі в скляних трубках, стискається, і цей процес відбувається досить повільно. Для його прискорення і для того, щоб обидва рівні води в трубках під час вимірювань знаходилися в полі зору, необхідно заздалегідь визначити й підтримувати в системі тиск, який регулюється вентилям 17 і вимірюється манометром 9. Другий прилад – **мембранний електричний дифманометр** 11 типу ДМ-35-83М, в якому перепад тиску ΔP перетворюється в електричний сигнал, що передається по кабелю на показувальний прилад 10 типу КВД-1 (100 поділок шкали цього приладу відповідають перепаду тиску $\Delta P_{\max} = 400 \text{ мм. вод. ст.}$

Для вимірювання тиску середовища перед дросельною діафрагмою використовується **манометр пружинний** 9, змонтований на головці дифманометра ДТ-5.

Після дросельної діафрагми вода пропускається через **тахометричний лічильник** 4 кількості рідини типу ВСКМ5/20. Тахометричний лічильник показує об'єм води V , що проходить через нього. Час вимірювання показань тахометричного лічильника $\tau_{\text{т.л.}}$ фіксується секундоміром 5. За паспортом приладу максимальна об'ємна витрата води, при якій можна використовувати лічильник тахометра типу ВСКМ/20, становить $Q_{o\max}^{\text{т.л.}} = 2,5 \text{ м}^3/\text{год}$.

Наступним приладом, підключеним для вимірювання витрати води, є скляний **ротаметр** 3 типу РМФ-2,5. Згідно з паспортною градувальною характеристикою ротаметру, наведеною на рис. 3, 100 поділок його шкали відповідають максимальній витраті води $Q_{o\max}^p = 2593 \text{ дм}^3/\text{год}$.

В роботі дослідні дані вимірювання витрати води вказаними методами зрівнюються з результатом **вагового способу**, який прийнято за еталонний. З цією метою за допомогою шлангу 15 струмיןь води направляють в ємність 14.

Одночасно включають секундомір 13, яким вимірюють час наповнення ємності τ_b . Потім воду направляють у приймальну лійку 16, звідки вона стікає до баку. Масу ємності з водою і без води визначають зважуванням на вагах 12.

3 ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ТА РЕЄСТРАЦІЯ ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

УВАГА! Пуск, регулювання режимів роботи та вимкнення установки виконується викладачем або майстром виробничого навчання.

Перед початком роботи на лабораторній установці студенти повинні вивчити методичні вказівки до лабораторної роботи та мати оформлені таблиці для внесення в них результатів вимірів. Кожен студент бере участь у вимірюваннях на кожному з приладів та записує дослідні дані до табл. 1.

Таблиця 1 – Дослідні дані

№ з/п	Найменування	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1	2	3	4	5
1	Вимірювання стандартною дросельною діафрагмою:			
	– перепад тиску, виміряний скляним дифманометром ДТ-5	ΔP	мм. вод. ст.	
	– показання приладу КВД під час вимірювання перепаду тиску за допомогою електричного дифманометра ДМ	m	поділки	
2	Вимірювання тахометричним лічильником об'єму:			
	– час вимірювання показань тахометричного лічильника	$\tau_{т.л.}$	с	
	– об'єм води, що пройшов через тахометричний лічильник за час вимірювання	$V_{т.л.}$	м ³	
3	Вимірювання ротаметром: – показники ротаметра,	n	поділки	

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
4	Вимірювання ваговим способом:			
	– час наповнення мірної рідини	τ_B	с	
	– маса мірної ємності з водою	M	кг	
	– маса мірної ємності без води	M_0	кг	
	– температура води	t	°С	

Доцільно безпосередньо під час вимірювань та реєстрації показань проводити експрес розрахунки витрати для різних приладів, це дозволить в порівнянні всіх значень витрат одразу помітити помилку вимірювання для конкретного приладу.

При проведенні вимірювань стандартної дросельної діафрагми є особливість: для стабілізації рівнів води в трубках перевернутого дифманометра ДТ-5 потрібен деякий час, і це необхідно враховувати при включенні насоса установки й при зміні режимів її роботи. У таких випадках вимірювання на дросельній діафрагмі доцільно проводити *після* використання інших приладів, коли рівні води трубки ДТ-5 перестануть підніматися. Якщо режим роботи установки не змінюється, і установка заздалегідь підготовлена до зняття показань приладів, тоді цю особливість використання дифманометра ДТ-5 враховувати не потрібно.

4 ОБРОБКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

4.1 Визначення об'ємної витрати води

Значення об'ємної витрати води Q_0^D за вимірним перепадом тиску ΔP на дросельній діафрагмі можна обчислити за формулою (1). Розрахунок параметрів діафрагми виконується за стандартною методикою [2] для труби діаметром $D = 50$ мм, $Q_{0\max}^D = 3$ м³/год, що відповідає $\Delta P_{\max} = 400$ мм вод. ст. Розрахунковий діаметр прохідної діафрагми $d = 22,4$ мм, коефіцієнт витрати діафрагми $\alpha = 0,6369$. З урахуванням параметрів діафрагми можна вираз (1) для визначення об'ємної витрати води (дм³/с) записати у вигляді:

$$Q_o^A = 0,433 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}. \quad (2)$$

Значення густини води ρ при температурі t можна взяти з табл.2.

Таблиця 2 – Значення густини води в залежності від температури

$t, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50
$\rho, \text{кг/м}^3$	999,7	998,2	995,7	992,2	988,1

У формулу (2) значення перепаду тиску на діафрагмі ΔP слід підставляти в Паскалях (1 мм. вод. ст. = 9,8 Па). Перепад тиску, що визначається за допомогою системи ДМ-КВД, обчислюється як

$$\Delta P = \frac{m}{100} \Delta P_{\max} \quad (3)$$

Для приладу КВД-1 100 поділок шкали відповідають $\Delta P_{\max} = 400$ мм вод. ст.

Значення об'ємної витрати води, що визначається за допомогою тахометричного лічильника, визначається як, $\text{дм}^3/\text{с}$

$$Q_o^{T.L.} = \frac{V_{T.L.} \cdot 10^{-3}}{\tau_{T.L.}}. \quad (4)$$

Для визначення значень об'ємної витрати води за показаннями ротаметра необхідно скористатися його паспортною градувальною характеристикою, наведеною на рис. 3.

Об'ємна витрата води, що вимірюється ваговим способом, $\text{дм}^3/\text{с}$

$$Q_o^B = \frac{(M - M_o) \cdot 10^{-3}}{\tau_B \rho}. \quad (5)$$

Результати розрахунків значень заносяться до табл. 3.

Таблиця 3 – Значення об'ємної витрати, виміряної різними способами

№ з/п	Найменування	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1	Об'ємна витрата води, виміряна стандартною дросельною діафрагмою: – при вимірюванні ΔP скляним дифманометром – при вимірюванні ΔP електричним дифманометром	$Q_o^{дск.}$ $Q_o^{дел.}$	$м^3/с$ $м^3/с$	
2	Об'ємна витрата води, виміряна тахометричним лічильником об'єму	$Q_o^{т.л.}$	$дм^3/с$	
3	Об'ємна витрата води, виміряна ротаметром	Q_o^p	$дм^3/с$	
4	Об'ємна витрата води, виміряна ваговим способом,	$Q_o^в$	$дм^3/с$	

4.2 Визначення похибок вимірювання витрати води

В якості еталонних значень об'ємної витрати води приймаємо результати вимірювання ваговим способом.

Абсолютна похибка витрати, $дм^3/с$:

$$\Delta_i = |Q_o^i - Q_o^в|,$$

де Q_o^i – значення об'ємної витрати води, виміряної за допомогою конкретного вимірювального пристрою.

Відносна похибка вимірювання об'ємної витрати води, %

$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{Q_o^в} 100.$$

Значення абсолютної та відносної похибок виміру необхідно записати в табл. 4.

Таблиця 4 – Похибка виміру витрати

№ з/п	Найменування	Абсолютна похибка, $\text{дм}^3/\text{с}$		Відносна похибка, %	
		Позначення	Значення	Позначення	Значення
1	Вимірювання стандартною дросельною діафрагмою: – при вимірюванні ΔP скляним рідинним манометром ДТ-5; – при вимірюванні ΔP електричним дифманометром ДМ та КВД-1	$\Delta_{\text{д ск.}}$		$\delta_{\text{д ск.}}$	
		$\Delta_{\text{д ел.}}$		$\delta_{\text{д ел.}}$	
2	Вимірювання тахометричним лічильником об'єму	$\Delta_{\text{т.л.}}$		$\delta_{\text{т.л.}}$	
3	Вимірювання ротаметром	$\Delta_{\text{р}}$		$\delta_{\text{р}}$	

5 ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Звіт повинен містити:

- схему лабораторної установки та її опис;
- таблицю дослідних даних;
- таблицю розрахункових значень об'ємної витрати;
- таблицю похибок виміру;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки про проведену лабораторну роботу.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поясніть принцип вимірювання витрати за допомогою дросельної діафрагми (або іншого пристрою).
2. Чим зумовлені можливості та обмеження застосування стандартних дросельних діафрагм?
3. Поясніть принцип розрахунку дросельної діафрагми. Який вигляд має розрахункова формула для обчислення витрати?

4. Які вимоги до виготовлення та встановлення стандартних дросельних діафрагм?
5. Які вторинні прилади (лабораторні та технічні) використовуються в комплекті з дросельною діафрагмою? Їх пристрій, принцип дії, переваги та недоліки.
6. Які додаткові вимірювання параметрів рідини чи газу необхідно зробити для визначення густини речовини?
7. Які з приладів, що використовуються в лабораторній роботі, є лічильниками об'єму, а які – витратомірами?
8. Поясніть принцип дії тахометричного лічильника об'єму рідини.
9. Як визначається витрата рідини за допомогою тахометричного лічильника?
10. Поясніть пристрій та принцип дії ротаметру.
11. Що являє собою градувальна характеристика ротаметру?
12. Як визначити об'ємні та масові витрати рідини за показаннями ротаметру? Які додаткові вимірювання необхідно зробити для визначення густини газу чи рідини перед ротаметром?
13. Назвіть переваги та недоліки ротаметру?
14. У чому полягає ваговий спосіб перевірки засобів вимірювання витрати рідини.
15. Які вимоги ставляться до ваг, мірної ємності, секундоміра для зменшення похибки вимірювання витрати?
16. Назвіть інші засоби вимірювання витрат рідини або газу, крім тих, що розглядаються у лабораторній роботі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабіченко А. К. та ін. Промислові засоби автоматизації. 4.1. Вимірювальні пристрої. Харків: НТУ «ХП», 2001. 407 с. (с. 130–233).
2. Курилов А. Ф., Козін В. М. Теплотехнічні вимірювання і прилади. Суми: Сумський державний університет, 2015. 189 с. (с. 83–88).
3. Дреус А. Ю., Лисенко К. Є., Сясев В. О. Збірник задач з тепломасообміну: навчальний посібник. Дніпропетровськ: Літограф, 2016. 124 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи

«Вимірювання витрати рідини»

за курсом «Теплотехнічні вимірювання та прилади»

для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»

усіх форм навчання

Укладачі: ПЕРЕСЬОЛКОВ Олександр Романович
КРУГЛЯКОВА Ольга Володимирівна

Відповідальний за випуск проф. М. П. Кунденко
Роботу рекомендувала до видання доц. Л. І. Тютюник

В авторській редакції

План 2023 р., поз. 745.

Підписано до друку 03.07.2023. Формат 60x84 1/16.

Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,3.

Наклад 40 прим. Зам. №. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП», 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ» (ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво
ВО4№022953) м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1 Тел. 7-170-354