

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни

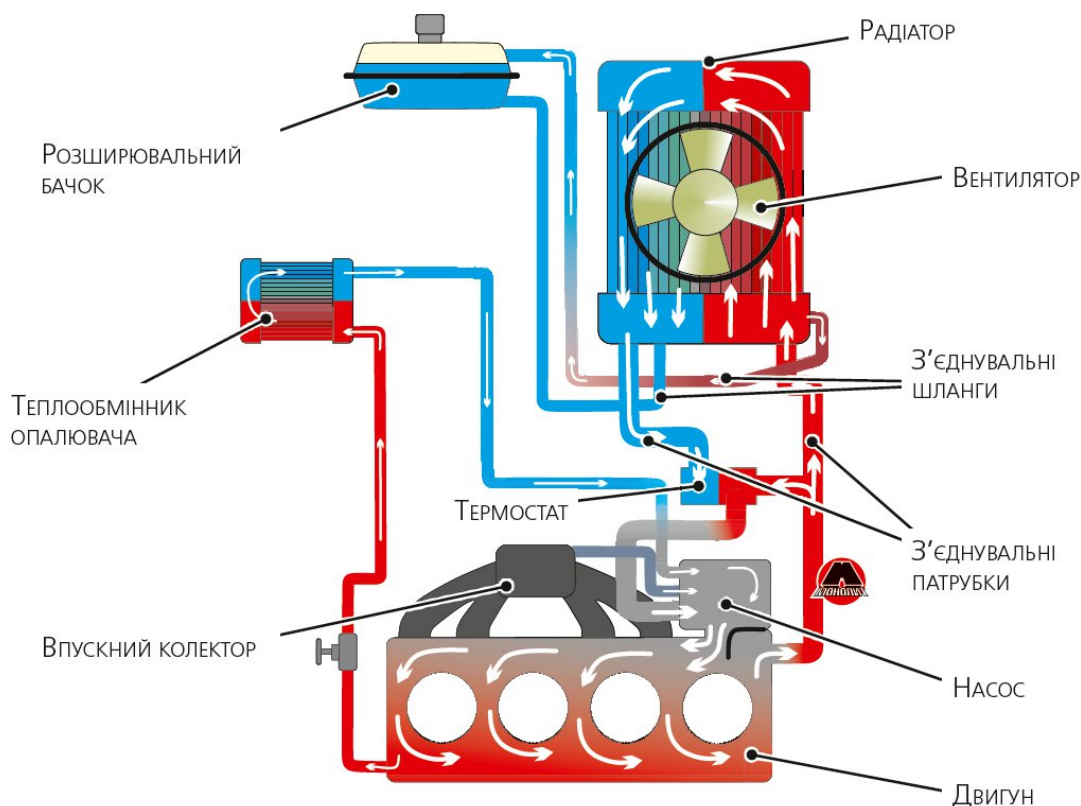
«ОСНОВИ ТЕПЛОТЕХНІКИ ТА ГІДРАВЛІКИ»

для студентів спеціальності

015 Професійна освіта (за спеціалізаціями)

Спеціалізація 015.38 Професійна освіта (Транспорт)

Електронне видання



Затверджено та рекомендовано до впровадження вченою радою Державного вищого навчального закладу «Донбаський державний педагогічний університет» «28» серпня 2025 р., протокол №1

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Стешенко Володимир Васильович – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри теорії і практики технологічної та професійної освіти ДВНЗ «Донбаський державний педагогічний університет»;

Фатальчук Сергій Дмитрович – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри вищої педагогіки Державного вищого навчального закладу «Донбаський державний педагогічний університет».

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Основи теплотехніки та гідравліки» для студентів спеціальності 015.38 «Професійна освіта (Транспорт)» [Електронний ресурс] / Уклад.: В.І. Бондаренко, Г.Я.Цибулько, М.Г. Погорєлов. Дніпро: ДВНЗ «ДДПУ», 2025. 96с.

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Основи теплотехніки та гідравліки» можуть бути використані як під час аудиторних занять, так і в процесі самостійної роботи студентів, а також рекомендацій викладачам для організації та проведення лабораторного практикуму з дисципліни.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Лабораторна робота №1. Прилади для вимірювання температури.....	9
Лабораторна робота №2. Визначення залежності температури кипіння води від тиску.....	21
Лабораторна робота №3. Визначення коефіцієнта теплопровідності	24
Лабораторна робота №4. Визначення зольності і вогкості палива.....	30
Лабораторна робота №5. Визначення коефіцієнта теплопередачі та тепловідведення.....	36
Лабораторна робота №6. Визначення характеристик відцентрового вентилятора.....	43
Лабораторна робота №7. Визначення основних характеристик компресорного агрегату домашнього холодильника.....	50
Лабораторна робота №8. Перевірка технічних і лабораторних пружинних манометрів.....	55
Лабораторна робота №9. Дослідження рівняння Бернуллі.....	61
Лабораторна робота №10. Визначення витрати водоміром вентурі.....	67
Лабораторна робота №11. Визначення коефіцієнта витрати при перемінному рівні рідини в посудині.....	72
Лабораторна робота №12. Визначення режиму витискання рідини.....	77
Лабораторна робота №13. Визначення втрат напору по довжині труби.....	85
Лабораторна робота №14. Визначення характеристик відцентрового насоса	90
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ...	91-

ВСТУП

Розвиток теплотехніки та гідравліки став потужною науковою базою для формування й удосконалення сучасної енергетики, машинобудування та транспорту. Ці галузі технічних наук відіграють ключову роль у створенні, експлуатації та вдосконаленні технічних систем, пов'язаних із перетворенням, передаванням і використанням енергії, а також із рухом рідин і газів у різноманітних інженерних пристроях. Саме тому дисципліна «Основи теплотехніки та гідравліки» займає вагомe місце в підготовці фахівців транспортного профілю.

Теплотехніка вивчає закономірності теплових процесів, пов'язаних із передаванням теплоти, перетворенням різних видів енергії та роботою теплових машин. Знання з теплотехніки є необхідними для розуміння принципів дії двигунів внутрішнього згорання, теплових двигунів, холодильних установок, систем опалення та охолодження, що широко застосовуються на транспорті. У процесі експлуатації транспортних засобів постійно відбуваються теплові процеси — згорання палива, відведення надлишкового тепла, теплообмін між деталями та навколишнім середовищем. Рациональна організація цих процесів безпосередньо впливає на економічність, надійність і довговічність техніки.

Вивчення основ теплотехніки дозволяє студентам зрозуміти фізичну сутність процесів згорання палива, утворення теплової енергії та її перетворення в механічну роботу. Особливу увагу приділяють вивченню термодинамічних процесів у циліндрах двигунів, роботі систем охолодження та змащування, а також питанням теплових втрат і підвищення коефіцієнта корисної дії машин, що є актуальними вимогами сьогодення до енергоефективності, екологічної безпеки в транспортній галузі [10].

Гідравліка, у свою чергу, досліджує закони рівноваги та руху рідин, а також їхню взаємодію з твердими поверхнями. Вона є теоретичною основою для проєктування й експлуатації численних гідравлічних систем, які широко

застосовуються на транспорті. До таких систем належать гальмівні механізми, гідропідсилювачі керма, гідроприводи робочих органів, системи підвіски, змащування та охолодження. Знання з гідравліки дають змогу майбутнім фахівцям розуміти процеси передавання тиску в рідинах, закономірності руху потоків у трубопроводах і каналах, причини виникнення втрат напору та способи їх зменшення. Це особливо важливо для забезпечення безпечної та ефективної роботи гальмівних і кермових систем транспортних засобів, від надійності яких залежить життя й здоров'я людей [4].

Дисципліна «Основи теплотехніки та гідравліки» формує в студентів системне технічне мислення, вміння аналізувати фізичні процеси, що відбуваються в реальних інженерних системах, та застосовувати теоретичні знання для розв'язання практичних завдань. Під час вивчення курсу студенти опановують базові поняття, закони й рівняння теплотехніки та гідравліки, навчаються виконувати розрахунки теплових і гідравлічних параметрів, оцінювати ефективність роботи технічних систем [10].

Особливе значення має практична складова дисципліни, яка реалізується через лабораторні роботи. Виконання лабораторних досліджень сприяє поглибленню теоретичних знань, формуванню навичок експериментальної роботи, користування вимірювальними приладами та аналізу отриманих результатів. Студенти набувають умінь проводити вимірювання температури, тиску, витрати рідини, визначати коефіцієнти теплопередачі, втрати напору та інші важливі параметри [10].

Отже, дисципліна «Основи теплотехніки та гідравліки» є складовою професійної підготовки фахівців транспортного профілю. Вона забезпечує наукову основу для вивчення спеціальних інженерно-технічних дисциплін, сприяє формуванню професійних компетентностей, розвитку технічного мислення та підготовці конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно працювати в умовах сучасного розвитку транспортної галузі.

Лабораторні роботи спрямовані на поглиблення й закріплення теоретичного матеріалу, набуття практичних умінь з дослідження теплових

явищ, параметрів теплообміну, законів руху рідин і газів, а також на формування професійних компетентностей з вимірювальними приладами та експериментальним обладнанням.

У методичних рекомендаціях подано мету та завдання кожної лабораторної роботи, короткі теоретичні відомості, порядок виконання досліджень, вимоги до оформлення звіту, контрольні запитання та рекомендації з техніки безпеки під час роботи в лабораторії. Запропонована структура сприяє розвитку аналітичного мислення, самостійності студентів та формуванню професійних компетентностей майбутніх педагогів професійного навчання транспортного профілю.

Методичні рекомендації можуть бути використані студентами денної та заочної форм навчання, а також викладачами закладів фахової передвищої та вищої освіти під час організації лабораторних занять з дисципліни «Основи теплотехніки та гідравліки».

Метою навчальної дисципліни є: формування у здобувачів освіти базових знань з основ гідростатики та гідродинаміки, термодинаміки та теплопередачі, процесів горіння палива та виділення теплоти, принципів роботи теплових та гідравлічних пристроїв для подальшого практичного використання в навчанні, побуті та професійній діяльності

Вивчення курсу спрямоване на формування наступних *професійних компетентностей* [12] :

ІК. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в професійній освіті, що передбачає застосування певних теорій і методів педагогічної науки та інших наук відповідно до спеціалізації і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

ЗК 05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК 06. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК 07. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 10. Здатність виявляти ініціативу та підприємливість.

СК 07. Здатність аналізувати ефективність проєктних рішень, пов'язаних з підбором, експлуатацією, удосконаленням, модернізацією технологічного обладнання та устаткування галузі/сфери відповідно до спеціалізації.

СК 11. Здатність використовувати у професійній діяльності основні положення, методи, принципи фундаментальних та прикладних наук.

СК 12. Здатність виконувати розрахунки технологічних процесів в галузі.

СК 13. Здатність управляти комплексними діями/проєктами, відповідати за прийняття рішень у непередбачуваних умовах та професійний розвиток здобувачів освіти і підлеглих.

СК 14. Здатність збирати, аналізувати та інтерпретувати інформацію (дані) відповідно до спеціалізації.

ПК 1. Здатність розв'язувати типові спеціалізовані задачі, пов'язані з вибором матеріалів, виконанням необхідних розрахунків, конструюванням технічних об'єктів у предметній галузі (відповідно до спеціалізації).

ПК 2. Здатність до аналізу результатів розрахунків, вимірювань та спостережень в предметній галузі.

Програмні результати навчання:

ПРН 17. *Виконувати* розрахунки, що відносяться до сфери професійної діяльності.

ПРН 18. *Розв'язувати* типові спеціалізовані задачі, пов'язані з вибором матеріалів, виконанням необхідних розрахунків, конструюванням, проєктуванням технічних об'єктів у предметній галузі (відповідно до спеціалізації).

ПРН 19. *Уміти* обирати і застосовувати необхідне устаткування, інструменти та методи для вирішення типових складних завдань у галузі (відповідно до спеціалізації).

У методичних рекомендаціях до лабораторних робіт з курсу «Основи теплотехніки та гідравліки» для студентів спеціальності 015.38 Професійна освіта (Транспорт) розглянуто теоретичні положення до виконання лабораторних робіт, опис лабораторних установок, порядок виконання робіт, методи обробки результатів експериментів і контрольні питання, що дає можливість студентам самостійно або під керівництвом викладача виконати лабораторні роботи.

Методична розробка призначена для надання методичної підтримки студентам під час самостійної підготовки до заняття, забезпечення глибокого засвоєння теоретичного матеріалу, розвитку аналітичного мислення та вміння застосовувати набуті знання під час виконання лабораторних робіт.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1.1 **Мета роботи:** ознайомити студентів із сучасними приладами для вимірювання температури, принципами роботи; навчити правильно контролювати точність вимірювань температури.

Завдання роботи:

1. Вивчити конструкцію та принцип роботи різних типів термометрів (ртутних, спиртових, термопар, терморезисторів, електронних датчиків).
2. Ознайомитися з правилами установки та підключення приладів для вимірювання температури.
3. Провести практичні вимірювання температури різних середовищ за допомогою різних приладів.
4. Проаналізувати точність та достовірність отриманих результатів.
5. Навчитися правильно оформлювати результати експериментів та робити висновки щодо ефективності різних приладів для конкретних умов вимірювань.

1.2 Теоретичні відомості.

Визначення поняття температури і її вимірювання засноване на явищі теплообміну, наприклад, між двома тілами, ізольованими від інших тіл і що знаходиться в тепловому контакті між собою (безпосередньому або через променистий теплообмін). При цьому тіло нагріте до вищої температури, передає тепло менш нагрітому, внаслідок чого температура обох тіл вирівнюється.

Завдяки досягненню теплової рівноваги в системі двох тіл, одне з яких приймають за еталон, забезпечується можливість вимірювання температури іншого тіла в єдиній системі вимірювання. Оскільки носіями внутрішньої енергії є молекули тіла, потенційна і кінетична енергія яких залежить від температури, оскільки температура визначає собою рівень внутрішньої енергії тіла, тобто ступінь його нагріву. Встановлено, що при кімнатній температурі молекули повітря рухаються з швидкістю близько 500 м/с, випробовуючи до 500 млн. зіткнень в секунду між собою. Зміна кінетичної енергії частинок - зміна швидкості сприймається нами і відповідними приладами як зміна температури. Тому температуру можна виразити в одиницях енергії. Проте на практиці виявилось зручніше використовувати для цього особливі одиниці градуси.

Якщо позначити температуру, зміряну в одиницях енергії – джоулях – Q , а ту ж саму температуру, зміряну в градусах - T , то зв'язок між ними виразиться співвідношенням

$$Q = kT \quad (1.1)$$

де коефіцієнт пропорційності $k = 1380 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постійна Больцмана.

Шкала температур, відлік якої починається від крапки $T=0$, (де припиняється рух молекул) – абсолютного нуля температури, називається

абсолютною шкалою, а також шкалою Кельвіна, одиниця вимірювання температури – Кельвін (**К**).

Помітимо, що згідно квантовій механіці, рух частинок ніколи не припиняється повністю. Навіть при $T=0$ зберігається коливальний рух атомів усередині молекул, електронів усередині атомів і т.д. Ці рухи називаються нульовими, а відповідно енергію - нульовою енергією.

У даний час рекомендовані дві температурні шкали: Міжнародна практична – стоградусна (Шкала Цельсія) і термодинамічна (абсолютна, шкала Кельвіна).

У практичній шкалі температура 0°C відповідає постійній точці появи льоду, а 100°C – точка кипіння води при нормальному атмосферному тиску ($760 \text{ мм. рт. ст.} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Па}$). Між абсолютною температурою T ($^{\circ}\text{K}$) і практичної t ($^{\circ}\text{C}$) зберігається співвідношення:

$$T = t + 273,15^{\circ}\text{K} \quad (1.2)$$

Для вимірювання температур використовують різні термометричні властивості тіл, тобто залежно від діапазону і умов вимірювання вибирають фізичні характеристики тіл, що піддаються вимірюванню залежно від температури. Найбільш застосовні термометричні властивості тіл і методи вимірювання наступні: розширення тіл залежно від зміни температури, зміна електричного опору провідників, термоелектричні явища, властивості випромінювання нагрітих тіл. Відповідно цьому промислові прилади для вимірювання температур класифікуються залежно від вибраного методу і діапазону вимірювань. Познайомимося з деякими з них:

1.3 Термометри розширення:

Термометри розширення засновані на різниці теплового розширення систем з двох твердих тіл – твердого і рідкого або твердого тіла і газоподібного.

Робочим тілом таких термометрів застосовуються: ртуть, толуол, етиловий спирт, ефір, метан.

Конструктивні форми рідино - скляних термометрів вельми різноманітні, проте серед них можна виділити два основні типи: поличний (рис. 1.1) і з вкладеною шкалою (рис. 1.2). Найбільше поширення в техніці набули ртутні скляні термометри. Вони виготовляються для вимірювання температур від -30 до $+700^{\circ}\text{C}$. Допустима погрішність коливається від $+0,2^{\circ}\text{C}$ до $+10^{\circ}\text{C}$ залежно від ціни розподілу і інтервалу вимірюваної температури.

Для вимірювання температур до $+500^{\circ}\text{C}$ ртутні термометри виготовляються із спеціального термометричного скла, а для вимірювання температур до $+700^{\circ}\text{C}$ – з кварцу. Внутрішня порожнина капіляра заповнюється газом (звичайно азотом). У високоградусних термометрів газ в капілярі знаходиться під тиском для запобігання сублімації ртуті (наприклад, в термометрі з шкалою до $+500^{\circ}\text{C}$ тиск в капілярі вищий 20 атм.).

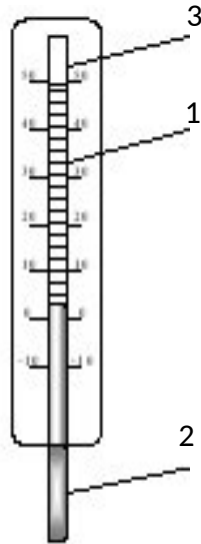


Рис. 1.1. Поличний:
 1- скляна трубка;
 2- робоче тіло;
 3- шкала.

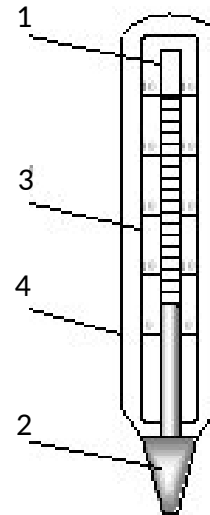


Рис. 1.2. З вкладеною шкалою:
 1 - скляна трубка;
 2 - робоче тіло;
 3 - вкладена шкала;
 4 - корпус.

1.4. Правила установки та експлуатації ртутних скляних термометрів:

- ртутні скляні термометри не слід поміщати на сонці.
- при установці технічних термометрів із вкладеною шкалою потрібно занурювати у вимірюване середовище тільки хвостову частину. Решта термометрів занурюється у вимірюване середовище до відлічуваного розподілу.

У разі, коли термометр не може бути занурений в середовище до відлічуваного розподілу, слід при точних вимірюваннях вводити поправку на виступаючий стовпчик ртуті.

1.5. Поправка на виступаючий ртутний стовпчик:

Ця поправка вводиться до показників термометрів, розрахованих на повне занурення, і вказує, на скільки свідчення термометра більше або менше тієї температури, яку термометр показував би при зануренні в середовище до відлічуваного розподілу.

Термометри градууються в термостатах, причому занурюються в рідину, що заповнює термостат до відлічуваного розподілу. Отже, вся ртуть, що заповнює капіляр, знаходиться при температурі вимірюваного середовища. Виступаючий стовпчик має іншу температуру, тому і доводиться вносити спеціальну поправку на виступаючий стовпчик по наступній формулі:

$$C = \alpha n (t - t_1) \quad (1.3)$$

де: C - поправка, виражена в $^{\circ}\text{C}$;

n – число градусів у виступаючому ртутному стовпчику;

α – видимий коефіцієнт розширення ртуті в склі (для найбільш споживаних сортів термометричного скла = **0,00016 град⁻¹**);

t – температура, відлічена по термометру $^{\circ}\text{C}$;

t_1 – середня температура виступаючого стовпчика ртуті $^{\circ}\text{C}$.

Температура виступаючого стовпчика визначається приблизно за допомогою допоміжного термометра малого габариту, закріпленого своїм резервуаром на середині висоти виступаючого ртутного стовпчика. Якщо температура навколишнього середовища нижча за температуру вимірюваного середовища, то поправку слід додавати до температури по термометру, якщо вище – віднімати.

1.6 Манометричні термометри:

Манометричні термометри є технічними приладами для вимірювання температури. Дані прилади застосовуються для вимірювання температури в межах від -50°C до $+550^{\circ}\text{C}$, з точністю $\pm 1,5\%$.

Перевагою манометричних термометрів є можливість передачі свідчення на порівняно велику відстань (до 40 - 60 м.).

Недоліки: трудність підтримки герметичності в системі.

Необхідність порівняно частих перевірок і відносна трудність ремонту.

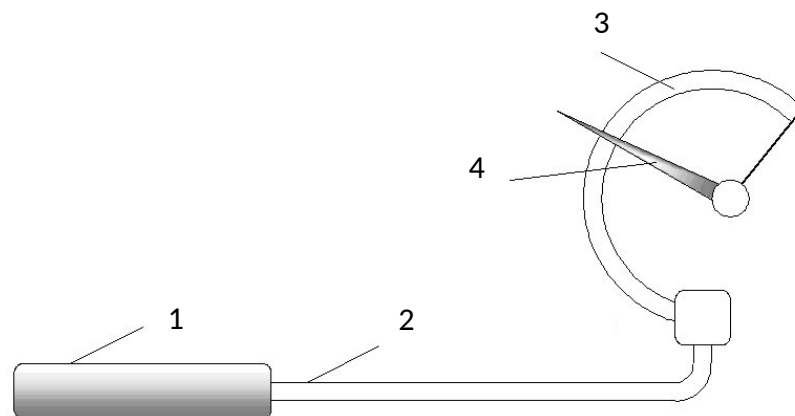


Рис. 1.3 Принципова схема манометричного термометра:

1 – термобалон; 2 – капілярна трубка;

3 – трубчата пружина; 4 – стрілка.

Принцип дії манометричного термометра заснований на тому, що із зміною температури термобалона при зануренні в середовище з вимірюваною температурою змінюється тиск робочої речовини усередині системи, унаслідок чого пружина розкручується, переміщуючи стрілку (рис.1.3).

Залежно від заповнювача (робочого тіла) манометричні прилади поділяються на 3 групи:

1. Рідинні;
2. Парові;
3. Газові.

Для рідинних манометричних термометрів в якості робочого тіла застосовуються висококиплячі рідини зазвичай: метиловий спирт, ртуть, ксилол. У таких термометрів робоче тіло цілком заповнює внутрішню порожнину системи (термобалон, капіляр, трубчаста пружина).

Для парових манометричних термометрів в якості робочого тіла низькокиплячі рідини: хлорметіл, хлоратіл, ефір, етиловий спирт, ацетон, бензол. У таких термометрів робоче тіло заповнює приблизно $2/3$ термобалона, у решті його третини над низькокиплячою рідиною знаходяться його пари, повітря видалене. Капілярна трубка і трубчаста пружина заповнюються іншою рідиною (гліцерин з водою або спиртом), що служить тільки для передачі тиску пари робочому тілу.

Для газових манометричних термометрів в якості робочого тіла застосовується газ, азот, рідкий гелій. У таких термометрів вся внутрішня порожнина системи також цілком заповнюється робочим тілом – газом.

Правила установки в експлуатації.

1. При монтажі манометричного термометра не слід перегинати капілярну трубку під надмірно гострими кутами.
2. Не слід допускати частих повторних перегинів капілярної трубки під гострими кутами в одному і тому ж місці.

1.7. Термоелектричні пірометри:

Загальні відомості.

Термоелектричним пірометром називається сукупність приладу електровимірювання і підключеної до нього термопари. Термоелектричні пірометри вимірюють температуру в межах від -100°C до $+1300^{\circ}\text{C}$. Точність вимірювання складає $2,5\%$ від максимального значення шкали.

Як прилади електровимірювань для термопар використовуються мілівольтметри і потенціометри.

До переваг термоелектричних пірометрів слід віднести:

1. достатньо високий ступінь точності;
2. можливість централізації контролю температури шляхом приєднання декількох термопар до одного вимірювального приладу;
3. можливість автоматичного запису температур.

У основу вимірювання температур за допомогою термопар встановлене явище виникнення термоелектрорухомої сили в ланцюзі, що складається з 2-х різнорідних металевих провідників за наявності різниці температур у місцях їх з'єднання.

На рис. 1.4 представлений такий ланцюг складається з двох різнорідних провідників **A** і **B**, температура спаю в точці 1 дорівнює $t^{\circ}\text{C}$, а в точці 2 $t_0^{\circ}\text{C}$. Термоелектрорухома сила виникаюча в цьому ланцюзі $E_{AB}(t, t_0)$ залежить від температур місць з'єднання та дорівнює різниці т. е. д. с. гарячого спаю $I_{AB}(t)$ і холодного спаю $I_{AB}(t_0)$, оскільки в спаях 1 і 2 виникають протилежно направлені т. е. д. с.

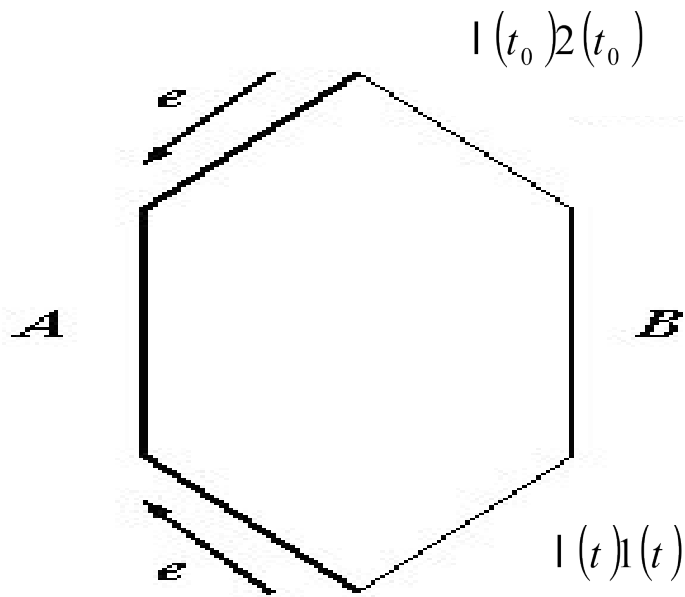


Рис. 1.4. Схема ланцюга з двох різнорідних провідників **A** і **B**

$$E_{AB}(t, t_0) = I_{AB}(t) - I_{AB}(t_0) \quad (1.4)$$

де: $E_{AB}(t, t_0)$ – т. е. д. с. вимірювана приладами. Для того, щоб можна було виміряти температуру по зростаючій в ланцюзі т. е. д. с. залежала тільки від температури гарячого спаю.

Підтримуючи температуру холодного спаю постійної $t_0 = \text{const}$, а отже,

$$I_{AB}(t_0) = \text{const} = C; \quad (1.5)$$

одержимо:

$$E_{AB}(t, t_0) = I_{AB}(t) - C; \quad (1.6)$$

Якщо залежність, що виражається цим рівнянням відома з таблиці або кривої, складених на підставі досвіду (шляхом градування термопари), то вимірювання невідомої температури зводиться до вимірювання $E_{AB}(t, t_0)$ при $t_0 = \text{const}$ (рис. 1.5).

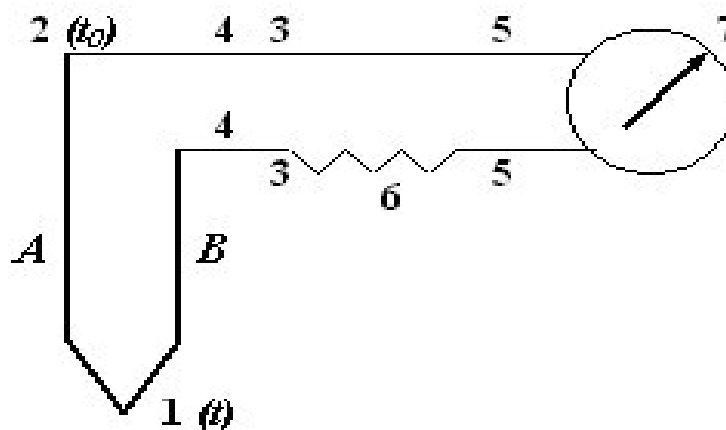


Рис. 1.5. Схема включення електровимірювального пристрою (мілівольметр або потенціометр)

де: **A, B** – електроди термопари.

1 - “гарячий спай” термопари, тобто місце з’єднання електродів термопари, що поміщається в середовище з вимірюваною температурою $^{\circ}\text{C}$;

2- “холодний спай” термопари, тобто кінці електродів термопари, розташовані поза межами середовища з вимірюваною температурою, але що можуть підпадати під температурні впливи від джерела тепла.

3 - холодні спаї термопари, віддалені від місць нагріву і під час вимірювання що підтримуються при постійній температурі $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$;

4 - компенсаційні дроти, що служать для видалення точок холодних спаїв від джерела тепла;

5 - мідні сполучні дроти;

6 - додатковий опір, що служить для підгонки загального опору зовнішнього ланцюга термоелектричного пірометра (може бути в окремих випадках відсутнім);

7 - чутливий мілівольметр (пірометр, якщо шкала має ціну розподілу в $^{\circ}\text{C}$) або потенціометр.

1.8. Основні правила при вимірюванні температури термоелектричними пірометрами:

1. Температури точок холодних спаїв (точки 3) повинні бути однаковими і рівними градуїзованій температурі $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

2. При температурі холодних спаїв, відмінній від градуїрованої $t_0 \neq 0^{\circ}\text{C}$, необхідно вводити спеціальну поправку на температуру “холодного спаю”.

3. Електроди термопари повинні бути ретельно захищені від дії гарячих агресивних газів, що викликають передчасне руйнування матеріалу електродів шляхом установки електродів захисні трубки з міді, мідних сплавів, сталеві, кварцові, фарфорові і т.п.

4. Електроди термопар повинні бути електрично ізольовані один від одного і від механічного захисного чохла скляними, фарфоровими або кварцовими намистами або трубками для уникнення короткого замикання.

5. Компенсаційні дроти повинні бути виготовлені з тих матеріалів, що і електроди термопар, якщо вони виготовляються з інших матеріалів, то вони повинні розвивати в парі між собою таку ж ЕДС, яка властива даній термопарі (для випадку електродів термопар з благородних металів).

1.9. Характеристика матеріалів електродів термопар:

Вживані для вимірювання температур термопар за матеріалами електродів можуть бути розбиті на 3 групи:

- термопар з благородних металів;
- термопар з неблагородних металів;
- термопар з металевих електродів в парі з неметалічними і хімічними з'єднаннями.

Технічно найпоширенішими є термопар 2-ої групи у наслідок своєї дешевизни, механічної міцності і достатньої хімічної стійкості, характеристики представлено в таблиці 1.1.

Термопар 1-ї групи застосовуються при вимірюванні вищих температур і в лабораторних умовах як еталонні.

З термопар 1-ї групи випускається стандартна термопара "ТН", що має електроди платина - платінородій з межами вимірювання: тривалий час до **1300⁰ С**, короткочасно до **1600⁰С**.

Таблиця 1.1

Характеристика термопар 2-й групи з неблагородних металів

№	Найменування	Термо-е.д.с. в мілівольтах при $t = 100^{\circ}\text{C}$, $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$	Верх. темпер. межа $^{\circ}\text{C}$		Стандартна чи ні	Фізико-хімічні властивості
			Тривалий нагрів	Короткий нагрів		
1	Мідь-копелева "ТМК"	4,75	350	500	так	Швидка окислюваність при 350°C
2	Жалізо-копелева "ТЖК"	5,75	600	800	так	Мало окислюється до 600° , але ржавіє
3	Хромель-копелева "ТХК"	6,95	600	800	так	Використовується при наявності вологи замість "ТЖК"
4	Хромель-алюмінєва "ТХА"	4,10	900	1250	так	Найкраща стійкість проти окислення при високих температурах
5	Мідь-константанова	–	350	–	ні	–
6	Жалізо-константанова	–	600	–	ні	–

1.10. Електричні термометри опору.

Електричними термометрами опору або просто термометрами опору називаються прилади або пристрої, що служать для вимірювання температур, і опору, що складаються з приладу електровимірювання і підключеного до нього термометра.

Термометри опору широко застосовуються для вимірювання температур від -200°C до $+500^{\circ}\text{C}$ із з точністю **1-1,5%** від максимального значення шкали.

Принцип дії термометрів опору заснований на властивості речовин змінювати свій електричний опір із зміною температури.

Чисті метали при нагріванні на 1°C збільшують свій опір на **0,4-0,6%**, а напівпровідники (оксиди металів) зменшують на **1,6-3,6%**.

У промислових умовах опір термометрів вимірюється неврівноваженими мостами і автоматичними урівноваженими мостами. Достоїнствами електричних термометрів опору є: високий ступінь точності, можливість приєднання декількох термометрів опору до одного вимірювального приладу, можливість автоматичного запису вимірюваної температури.

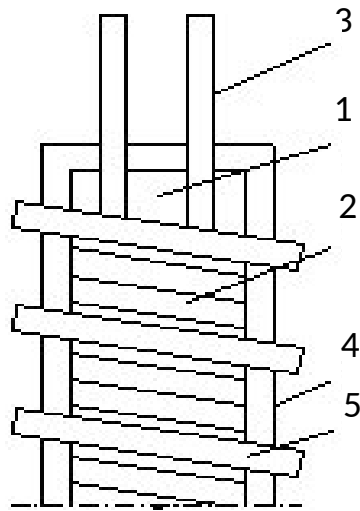


Рис. 1.6. Платиновий термометр опору.

Основні частини теплочутливого елемента на слюдяній основі:

1. слюдяна пластина із зубчастою нарізкою;
2. платиновий дріт;
3. вивід із срібного дроту;
4. слюдяні пластини (ізолятори);
5. срібна смужка, яка скріплює слюдяні пластини.

Термометри опору виготовляються з тонкого дроту (платина, мідь, нікель, залізо), намотаного на каркас із слюди, кварцу або фарфору без жодних механічних напруг в уникненні зміни опору дроту. Термометр опору повинен занурюватися у вимірюване середовище так, щоб середина теплочутливого елемента знаходилася в центрі потоку.

1.11. Оптичний пірометр:

Робота оптичних пірометрів із зникаючою ниткою заснована на порівнянні яскравості досліджуваного нагрітого тіла з яскравістю нитки електричної лампи, встановленої усередині приладу. Такі прилади зручні і достатньо точні. Основним їх недоліком є те, що нуль-індикатором у цих приладів служить око спостерігача.

Оптичний пірометр складається з телескопа, переносного гальванометра (міліамперметра), акумулятора на **2 В** і сполучних дротів.

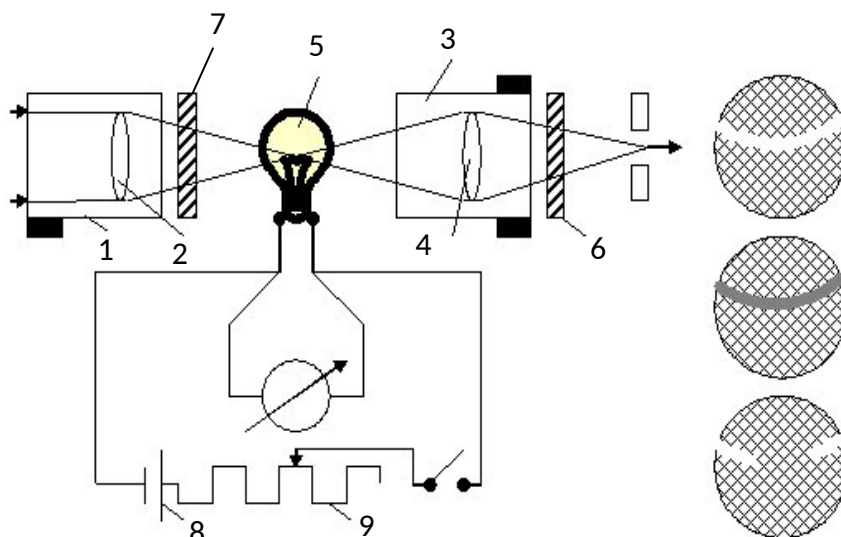


Рис.1.7. Схема оптичного пірометра із зникаючою ниткою.

1 - об'єктив; 2 - лінза; 3- окуляр; 4- лінза; 5 - лампа розжарювання;
6 - червоний світлофільтр; 7- сірий світлофільтр; 8 - акумулятор;
9 - реостат.

1.12. Вимірювання температури оптичним пірометром:

1. При включеній лампі розжарювання переміщують окуляр до тих пір, поки не вийде чітке і ясне зображення нитки лампи розжарювання.

2. Вводять червоний світлофільтр, а при $t > 1400^{\circ}\text{C}$ - захисний сірий.

3. Направляють телескоп на нагріте тіло, температуру якого вимірюють, і регулюють напруження лампи за допомогою реостата до збігу яскравості нитки і нагрітого тіла.

4. Після визначення температури тіла за шкалою амперметра, градуйованою в $^{\circ}\text{C}$, поступово виводять реостат, вимикаючи цим лампу розжарювання.

1.13. Зміст звіту:

1. Мета роботи.

2. Схеми пристрою приладів.

3.Короткий виклад принципів роботи приладів.

1.14. Контрольні питання:

1. На чому заснований принцип дії рідинно-скляного термометра?
2. В яких випадках необхідно вводити поправку на виступаючий стовпчик ртуті?
3. Чому ртутні скляні термометри не слід поміщати на сонці?
4. На чому заснований принцип дії манометричного термометра?
5. Назвіть основні елементи манометричного термометра?
6. Чому при установці манометричного термометра не слід часто перегинати капілярну трубку?
7. Яке явище встановлене в основу методу вимірювання температури за допомогою термоелектричного пірометра (термопари)?
8. Які матеріали застосовуються для виготовлення електродів термопар?
9. Назвіть основні елементи термометра опору?
10. На чому заснований принцип дії термометра опору?
11. У яких випадках застосовують при вимірюванні температури оптичний пірометр?
12. На чому заснований принцип дії оптичного пірометра?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Коновалова С. О. Теплофізичні процеси: методичні вказівки до організації самостійної роботи для студентів технічних спеціальностей заочної форми навчання/ Краматорськ : ДДМА, 2015. 59 с.
2. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ КИПІННЯ ВОДИ ВІД ТИСКУ

2.1. Мета роботи:

1. Експериментальним шляхом визначити декілька значень температури кипіння води при різному тиску;

2. За досвідченими даними побудувати в системі координат залежність температури кипіння води від тиску і порівняти її з довідковою залежністю, нанесеною на тій же системі координат.

2.2. Основні положення:

Кипінням називається бурхливе паротворення по всій масі рідини, яке відбувається при повідомленні їй певної кількості тепла.

Що утворилися у стінок судини і усередині рідини міхури газу, збільшуючись в об'ємі, підіймаються на поверхню рідини.

Досвід і теорія показують, що для температури кипіння рідини і її тиску існує однозначна залежність: $t_s = f(P)$.

Необхідність існування такої залежності можна пояснити, користуючись міркуваннями молекулярно-кінетичної теорії. Оскільки тиск залежить від концентрації молекул і їх середньої кінетичної енергії, у свою чергу пов'язаної з температурою, то звідси витікає, що кожному значенню тиску відповідає певне значення температури.

2.3. Опис установки:

Експериментальна установка зображена на рис. 2.1. Вона складається з вакуумного насоса **1**, сполученого гумовою трубкою з судиною **2** і вакуумметром **5**. Насос призначений для створення відповідного вакууму (тиск нижчий атмосферного, тобто розрідження) у судині **2**. Нагрів води виробляється за допомогою водонагрівача **4**. Температуру кипіння рідини і тиск в судині знімають за свідченнями термометра **3** і вакуумметра **5**.

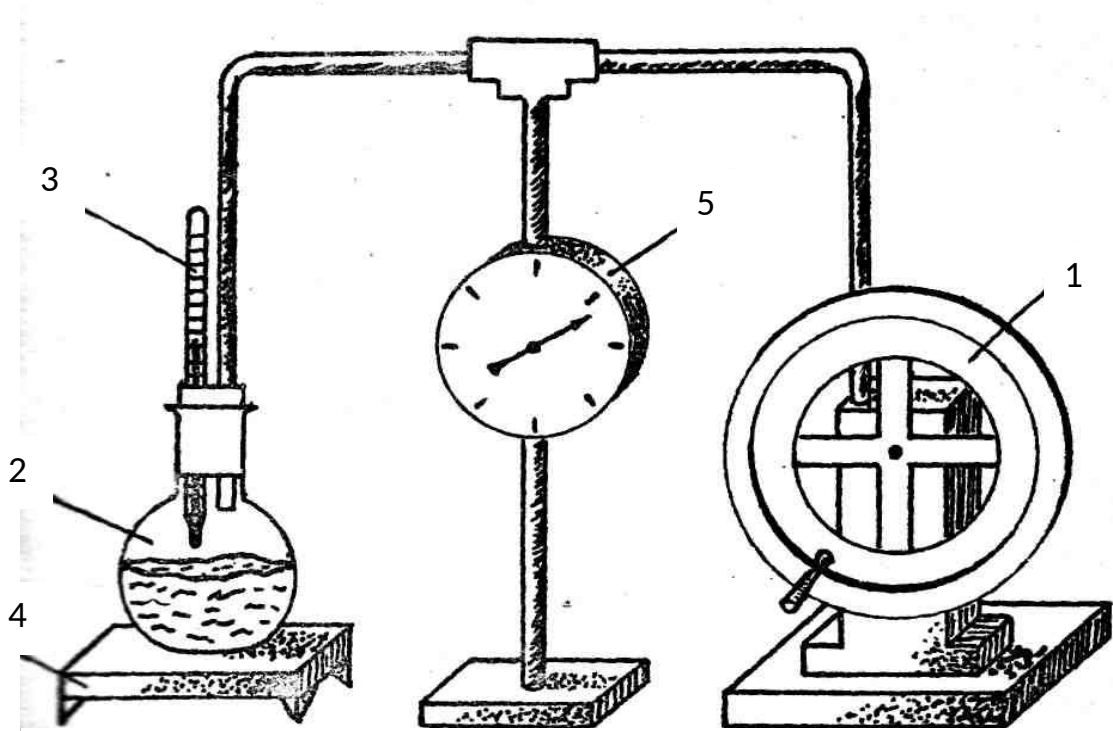


Рис. 2.1 Експериментальна установка для розрідження тиску.

2.4. Проведення дослідження:

За допомогою ручного приводу насоса в судині 2 слід встановити максимально можливе розрідження (вакуум), після чого виробляється підведення тепла до рідини, що знаходиться в судині. При закипанні рідини чисельні значення тиску і температури, сталої при цьому, вносяться в таблицю.

Далі, поступово підвищуючи тиск в судині до **0,2:0,3:0,4** і т.д. абсолютної атмосфери шляхом періодичного короточасного повідомлення судини з атмосферою за допомогою затиску 3, вимірюється температура кипіння, відповідна напірному значенню тиску. Одержані результати вносяться в таблицю.

2.5. Обробка результатів дослідження:

1. Для кожного дослідження, тобто для кожного значення тиску повинна бути вказана відповідна йому температура кипіння рідини.

2. За табличними даними (додаток 2.1) у системі координат “температура-тиск” будується довідкова залежність t_s від P_s в інтервалі тиску дещо більше за той, який мав місце в дослідах.

3. У цій же системі координат наносяться досвідчені крапки і проводиться лінія, відповідна залежності $t_s = f(P)$, одержаної в досвіді.

2.6. Складання звіту:

Звіт по виконаній роботі повинен містити:

1. Мета роботи.
2. Схему установки.
3. Табличну форму запису вимірювань і довідкових даних.
4. Обробку результатів досвіду.
5. Порівняння досвідчених даних з табличними і відповідні

висновки.

2.7. Контрольні питання:

1. Пояснити поняття “розрідження”, “тиск”, “вакуометричний тиск”.
2. Об’ясніть різницю в поняттях “абсолютне“ і “надмірне” (манометричне) тиск.
3. Як змінюється температура кипіння води при зміні тиску?
(Привести приклади з відомого вам теплоенергетичного устаткування).

Температура кипіння води залежно від тиску.

Додаток 2.1

P, МПа	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12	0,14	0,2
t, °C	89,95	93,50	96,71	99,62	104,8	109,31	120,23

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Коновалова С. О. Теплофізичні процеси: методичні вказівки до організації самостійної роботи для студентів технічних спеціальностей заочної форми навчання/ Краматорськ : ДДМА, 2015. 59 с.

2. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ

3.1. Мета роботи:

Ознайомити студентів з основними поняттями теплопровідності досліджуваних матеріалів при різних температурах: побудувати графік залежності коефіцієнта теплопровідності від температури.

3.2. Теоретичні відомості:

У теорії теплообміну вивчаються процеси розповсюдження теплоти в твердих, рідких і газоподібних середовищах. Існує три основні способи перенесення теплоти: теплопровідність, конвенція і випромінювання. Теплопровідність є процесом розповсюдження теплоти між безпосередньо дотичними тілами або частинами одного тіла з різною температурою. Структурні частинки більш нагрітої частини тіла, стикаючись в результаті безладного руху з навколишніми частинками, передають їм частину кінетичної енергії.

У газах теплота переноситься за допомогою атомів і молекул, в твердих тілах - діелектриках і рідинах - пружними хвилями, в металах - вільними електронами.

Цей процес поступово поширюється по всьому об'єму тіла і супроводжується вирівнюванням температури всієї його маси. У чистому вигляді явище теплопровідності спостерігається переважно у твердих тілах. Передача теплоти шляхом теплопровідності зумовлена наявністю різниці температур між окремими ділянками тіла. Сукупність значень температур у всіх точках тіла у певний момент години називається температурною. У загальному випадку рівняння температурного поля має вигляд:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (3.1)$$

де t - температура тіла;

x, y, z - координати крапки;

τ - час.

Таке поле називається нестационарним температурним полем. Воно відповідає несталому тепловому режиму теплопровідності.

Якщо температура тіла не змінюється з часом, то температурне поле називається стаціонарним.

Тоді:
$$t = f(x, y, z); \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \quad (3.2)$$

Температура може бути функцією однією, двох і трьох координат. Відповідно цьому температурне поле називається одновимірним, двовимірним, тривимірним. Найпростіший вигляд має рівняння одновимірного стаціонарного температурного поля:

$$t = f(x); \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0; \quad \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \quad (3.3)$$

Якщо з'єднати всі точки тіла, що мають однакову температуру, утвориться поверхня рівних температур, яку називають ізотермічною

поверхнею. Оскільки у кожній точці тіла у певний момент години може існувати лише одне значення температури, ізотермічні поверхні не перетинаються між собою. Усі вони або є замкненими, або закінчуються на межі тіла. Перетин ізотермічних поверхонь площиною утворює на цій площині сімейство ізотерм (рис. 3.1). Інтенсивність зміни температури в будь-якому напрямку характеризується похідною температури, яка досягає максимального значення:

$$\frac{\partial t}{\partial s} \Big|_{\partial} = \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad } t \text{ град/м} \quad (3.4)$$

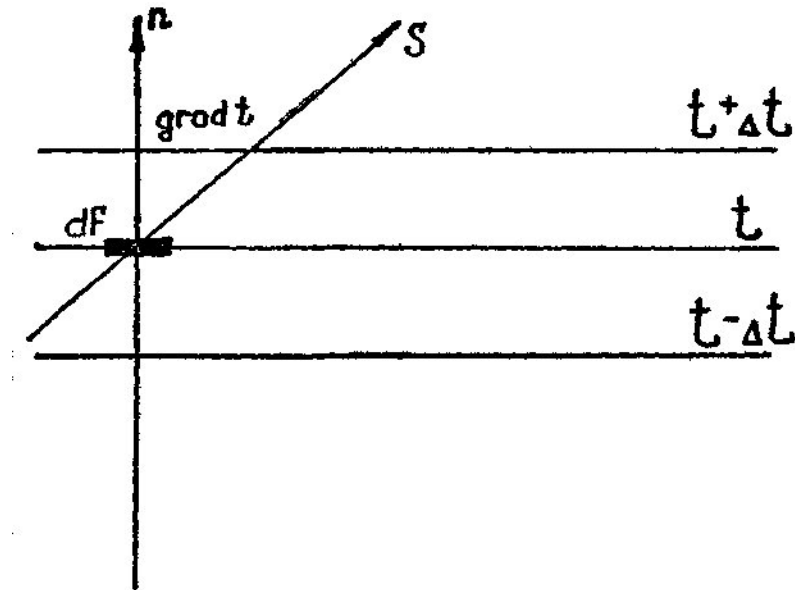


Рис. 3.1 Сімейство ізотерм.

Вектор **grad t** називається температурним градієнтом і є мірою інтенсивності зміни температури в напрямі по нормалі до ізотермічної поверхні. Направлений він у бік зростання температури. Згідно гіпотезі Фур'є, кількість теплоти **dQ_t**, що проходить через елемент ізотермічної поверхні **dF** за проміжок часу **dτ**, пропорційний температурному градієнту:

$$\frac{\partial t}{\partial n}, \text{ т.е. } dQ_t = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau \text{ Дж} \quad (3.5)$$

Тут коефіцієнт **λ** пропорційності називається коефіцієнтом теплопровідності. Знак мінус указує на те, що теплота передається у напрямі зміни температури. Кількість теплоти, що пройшла в одиницю часу через одиницю ізотермічної поверхні, називається густиною теплового потоку:

$$g = \frac{dQ_t}{dF d\tau} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = -\lambda \text{ grad } t \text{ Вт/м}^2 \quad (3.6)$$

Рівняння (3.5), (3.6) є математичним виразом основного закону теплопровідності - закону Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності є фізичним

параметром речовини, характеризує його здатність проводити теплоту. Розмірність коефіцієнта теплопровідності визначається з рівняння:

$$\lambda = - \frac{dq}{dt} \frac{F}{\Delta t} \quad \text{Вт/м град} \quad (3.7)$$

Чисельно коефіцієнт теплопровідності дорівнює кількості теплоти, що проходить за одиницю часу через одиницю площі ізотермічної поверхні за умови, що градієнт температури дорівнює одиниці. Значення коефіцієнта теплопровідності для різних речовин наводяться в довідкових таблицях, складених на основі експериментальних даних. Для більшості матеріалів залежність коефіцієнта теплопровідності від температури з достатньою для інженерних розрахунків точністю може бути апроксимована лінійною функцією:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \beta t), \quad (3.8)$$

де: λ_0 - коефіцієнт теплопровідності при температурі t_0 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{C}}$:

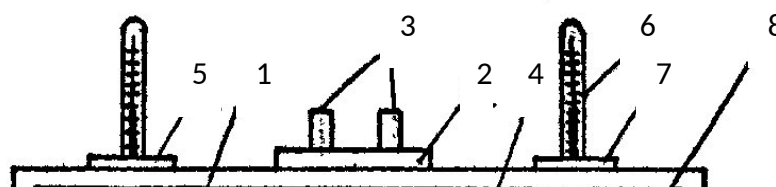
t - температура $^\circ\text{C}$;

β - температурний коефіцієнт, який визначається дослідним шляхом.

Кращими провідниками теплоти є метали, з яких змінюється від **3** до **458 Вт/м $^\circ\text{C}$** . Самим теплопровідним металом є срібло $\lambda = 458 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}$. Коефіцієнти теплопровідності чистих металів, за винятком срібла, з підвищенням температури убувають.

3.3 Хід роботи:

Середня судина **2** (рис. 3.2) наповнюється водою вище за рівень стрижнів **1** і **4**, упаяних в цю судину. Включається кип'ятильник **3**. Воду в судині доводять до кипіння, після чого через 10...12 хв., коли встановиться стаціонарний тепловий стан, у крайні судини заливають мірну кількість води (див. рис. 3.2)



Вимір води в кінцевих судинах виробляють через кожні 2 хв. За допомогою термометра 6 протягом 10...12 хв. Результати вимірювань заносять в таблицю.

Результати вимірювань.

Таблиця 3.1

№ пп	Час, с	Інтервал часу	Температура води в судині 3А, °С	Температура води в судині 3Б, °С
1.	0	120		
2.	120	120		
3.	240	120		
4.	360	120		
5.	480	120		
6.	600	120		
7.	720	120		

3.4 Порядок розрахунку:

Після закінчення експерименту виробити розрахунок величини коефіцієнтів теплопровідності латуні і стали для кожного 2 - хвилинного інтервалу.

При стаціонарному тепловому стані числове значення коефіцієнта теплопровідності може бути визначене із загального рівняння теплопровідності:

$$Q = \frac{l}{s} (t_1 - t_2) F \tau, \text{ або } \lambda = \frac{QS}{F \tau (t_1 - t_2)} \quad (3.9)$$

Де: Q - кількість тепла, переданого через стрижень, Дж;
 λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м °С;
 S - довжина стрижня, м.;
 t_1 - температура в середній судині, °С;
 t_2 - температура в кінцевих судинах, °С;
 F - площа поперечного перетину стрижня, м²;
 τ - час, протягом якого по стрижнях протікає стаціонарний тепловий потік, с.

Позначимо через G_v масу теплоносія (води) в кінцевій судині, через C_v - теплоємність води.

Величина $G_v C_v$ - є повною теплоємністю і називається водяним еквівалентом ω_v .

Паралельно з нагрівом води відбуватиметься зростання температури судини, усередині якої знаходиться вода. Позначимо через G_c - теплоємність матеріалу судини, через C_c - теплоємність матеріалу судини, тоді $G_c C_c$ буде водяним еквівалентом судини ω_c .

Водяний еквівалент показує, скільки кілограм води необхідно узяти, щоб її теплоємність була рівна теплоємності матеріалу масою G_c , з якого виготовлена судина.

Кількість тепла, переданого через стрижень, визначається виразом:

$$WQ = (\omega_v + \omega_c) \Delta t = (\omega_v + \omega_c) * (t_k - t_n) = \omega \Delta t \quad (3.10)$$

де: ω_v - водяний еквівалент води, Дж/°С;
 ω_c - водяний еквівалент судини, Дж/°С;
 t_n - температура води в судині на початку експерименту, °С;
 t_k - температура води в кінці експерименту, °С;
 ω - загальний водяний еквівалент матеріалу судини і води, що міститься в ньому, $\omega = \omega_v + \omega_c$.

Значення з рівняння (3.10) підставимо в рівняння (3.9)

$$\lambda = \frac{w_s (t_k - t_n) * 3600}{t \frac{\rho d^2}{4} * (t_1 - t_2)} \quad (3.11)$$

де: ω - для латунної судини з водою = 0,094;

ω - для сталеві судини з водою = 0,092;

$S = 0,146$ м;

$d = 0,0138$ м;

$t_2 = \frac{t_k + t_n}{2}$, температура почала і кінця кожного інтервалу.

Після закінчення розрахунків побудувати графічні залежності коефіцієнта теплопровідності від температур:

$$\lambda = f^*(t_2)$$

3.5 Порядок складання звіту:

Звіт по виконаній роботі повинен містити:

1. Назва і мета роботи.
2. Короткий опис і креслення установок.
3. Основні теоретичні положення.
4. Хід роботи і розрахунок в зошиті.
5. Графік залежності коефіцієнта теплопровідності від температур.
6. Короткий звіт - висновок про виконану роботу.

3.6 Контрольні питання:

1. Які існують способи передачі тепла?
2. Суть явища теплопровідності?
3. Що таке ізотермічна поверхня?
4. Дайте поняття температурного градієнта?
5. Напишіть рівняння теплопровідності Фур'є?
6. Поясніть фізичну суть коефіцієнта теплопровідності?
7. Як коефіцієнт теплопровідності залежить від решти фізичних величин?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Коновалова С. О. Теплофізичні процеси: методичні вказівки до організації самостійної роботи для студентів технічних спеціальностей заочної форми навчання. Краматорськ : ДДМА, 2015. 59 с.

2. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ЗОЛЬНОСТІ І ВОГКОСТІ ПАЛИВА

4.1 Мета роботи:

Ознайомлення з методикою і визначення змісту вологи і зольності в аналітичній пробі твердого палива з подальшим перерахунком на суху робочу масу.

4.2 Основні теоретичні положення при визначенні вогкості:

Однією з найважливіших характеристик палива є його вогкість. Вогкість палива вимірюють у відсотках і розділяють на зовнішню (механічну) $\omega_{\text{вн}}$ і внутрішню (гігроскопічну або аналітичну) $\omega_{\text{гігр}}$, сума яких складає робочу вогкість:

$$\omega^p = \omega_{\text{гігр}} + \omega_{\text{вн}} \quad (4.1)$$

Кількість зовнішньої вологи залежить від: вогкості, тиску, температури повітря, стану погоди, тривалості знаходження у відкритому вигляді при перевезенні, розмірів поверхні. Ця волога утримується на поверхні палива і є нестійкою. Зовнішня волога віддається при природній сушці палива до рівноважного стану з навколишнім середовищем. Гігроскопічна (аналітична) - стійка волога утримується в порах палива унаслідок капілярних сил, кількість її залежить від властивостей самого палива, а також від зовнішніх атмосферних умов, в першу чергу від відносної вогкості навколишнього повітря.

Залежно від змісту вологи паливо (або його проба) підрозділяються на:

1. Робоче паливо - в тому вигляді, в якому воно потрапляє в топінний пристрій: у ньому міститься гігроскопічна і зовнішня волога.
2. Легко - сухе паливо, приведене в рівновагу з навколишнім повітрям, яка містить тільки гігроскопічну вологу.
3. Абсолютно сухе паливо, яке абсолютно не містить вологи: це поняття має головним чином теоретичне значення, бо в такому стані паливо вельми нестійке. Залежно від того до якої маси відноситься волога, розрізняють абсолютну і відносну вогкість.

Абсолютна вогкість визначається відношенням маси вологи до абсолютно сухої маси палива, а відносна - відношенням маси вологи до загальної маси палива.

Вміст вологи в паливі коливається в дуже широких межах - від часток до декількох десятків відсотків - і є шкідливою складовою

палива, оскільки присутність вологи зменшує абсолютну кількість корисних складових частин палива, приводить до зниження теплоти згорання і погіршує процес горіння.

Суть методу визначення аналітичної (гігроскопічної) вологи полягає у висушуванні аналітичної проби палива в сушильній шафі при постійній температурі.

$$t = 102 - 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

до повного випаровування вологи.

Температура вище 110°C (383°K) недопустима, оскільки з палива можуть почати виділятися летючі речовини, що призводитиме до невірних результатів дослідження. Якщо ж температура в шафі буде нижче 100°C (373°K), то з палива не виділиться вся гігроскопічна волога.

Відносна вогкість в аналітичній пробі визначається як відношення спаду маси навішування в процесі сушки до первинної маси навішування палива.

4.3 Опис установки:

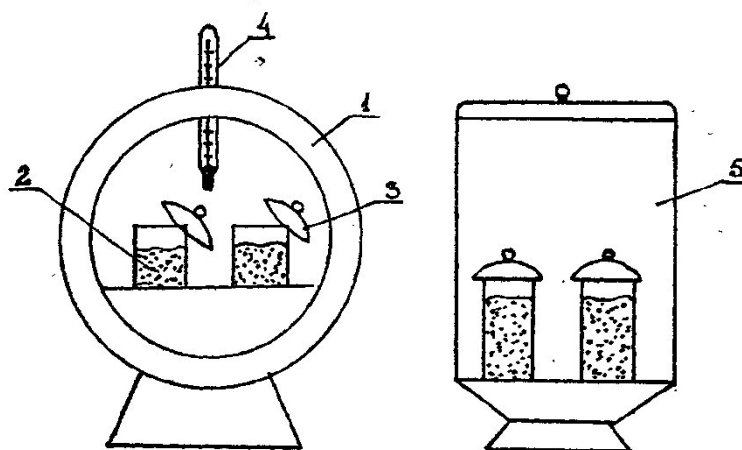


Рис.4.1. Схема установки для визначення вогкості палива.

Установка складається з електричної сушильної шафи 1; з терморегулятором і отворами для природної вентиляції стаканчика (бюкса) 2; з навішуванням палива і кришкою 3; контрольного термометра 4 для вимірювання температури у середині сушильної шафи; ексікатора 5 з хімічним реактивом, поглинаючим вологу.

4.4 Порядок проведення роботи:

На аналітичних вагах зважують порожній стаканчик з притертою кришкою (бюкс), насипають в нього 1-2 г палива і знову зважують. По різниці мас бюкса з паливом і порожнього визначають масу навішування палива.

Після вторинного зважування поміщають бюкс з паливом і відкритою кришкою в розігріту до температури $102-105^{\circ}\text{C}$ ($375-378^{\circ}\text{K}$) сушильну шафу і при даній температурі витримують у ньому протягом 30 хв.

Після висушування палива бюкс, закривши його кришкою, щоб волога з повітря не потрапляла в паливо, виймають з шафи і охолоджують на повітрі (протягом двох хвилин), а потім в ексікаторі до кімнатної температури і

зважують. По різниці мас бюкса з навішуванням палива до сушки визначають спад маси в процесі сушки.

Для перевірки повного видалення вологи потрібно зробити контрольні просушування (тривалістю 30 хв. кожне) при тому ж температурному режимі з подальшим охолодженням і зважуванням доти поки маса не почне убавати менше ніж на 0,001г. або не зростатиме. У останньому випадку враховують передостанню масу. Результати зважувань записують в таблицю 1.

Таблиця 4.1

Номер бюкса	Маса бюкса, г.			
	пустого m_1	с навішуванням палива m_2	після 1-ї сушки m_3	після 2-ї сушки m_4

4.5 Обробка результатів дослідження:

Відносну вогкість в аналітичній пробі палива підраховують по формулі:

$$\omega^a = \frac{dm}{m} \cdot 100 = \frac{m_4 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

де: b_m – спад маси в процесі сушки;

m – маса навішування палива, г.

Якщо необхідно обчислити робочу вогкість палива, то її визначають по формулі:

$$\omega^p = \omega_{BH} + \omega^a \frac{100 - w^{BH}}{100} (\%) \quad (4.3)$$

4.6 Основні теоретичні положення при визначенні зольності:

Зола є негорючими мінеральними домішками, частина яких рівномірно розподілена в паливі, інша ж частина - порода – захоплюється при розробці пласта, і її можна відділити від палива в процесі його збагачення. До складу золи входять солі лужноземельних елементів земної кори, глинозем Al_2O_3 , кремнезем SiO_2 , оксиди заліза FeO , Fe_2O_3 , вапно CaO , луги Na_2O і K_2O , магnezія MgO , а також сульфатна сірка $CaSO_4$.

Вміст золи в паливі коливається в дуже широких межах, досягаючи в сланцях 75% на суху масу палива.

Зола є баластом, присутність її в паливі знижує теплоту згорання, ускладнює процес спалювання палива, знижує економічність роботи котельних установок і потребує зайвих витрат при перевезенні палива.

Продукт, що утворюється в топці в результаті перетворення золи в міцну масу, що спеклася, називається шлаком.

Шлак, заливаючи просвіти для проходження повітря в колосникових ґратах, збільшує газовий опір топки, обволікає шматки палива, що утрудняє їх спалювання, і створює грудки, з якими віддається і недопалене паливо.

Вміст і стан золи в топці має важливе значення для вибору типу топки і її конструкції.

Суть методу визначення змісту золи в паливі полягає в повільному озоленні проби палива в муфельній печі і прокалюванням зольного залишку в умовах вільного доступу повітря при температурі $t = 800 \pm 25^\circ\text{C}$ ($t = 1070 \pm 25^\circ\text{K}$) до постійної ваги.

Про закінчення спалювання коксу свідчить зникнення іскріння в тиглі та отримання сірого або жовтуватого порошку золи.

Зольність палива в аналітичній пробі визначається як відношення маси зольного залишку, що утворився після вигорання органічної частини палива, до маси навішування палива.

4.7 Опис установки:

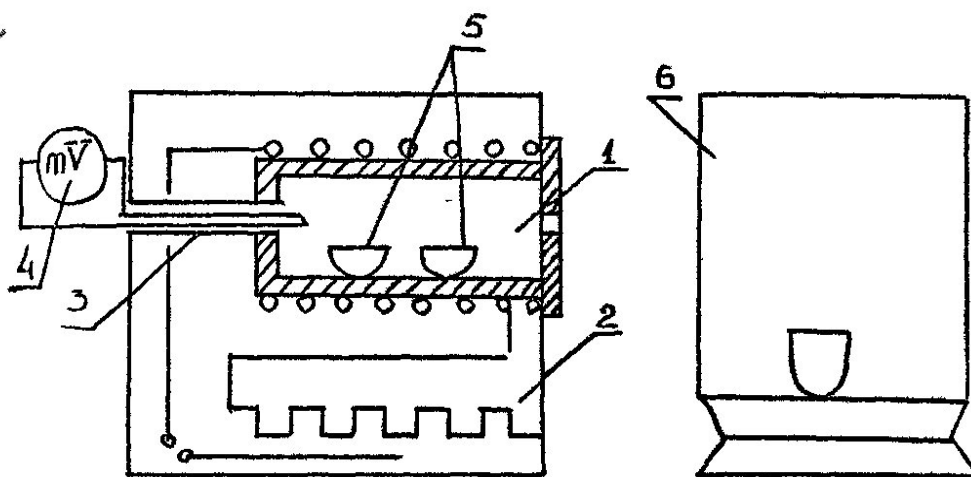


Рис. 4.2 Схема установки для визначення зольності палива.

Схема складається з: муфельної печі 1, у якій знаходяться два отвори для підводу повітря та видалення продуктів згорання, реостат 2 для регулювання сили струму, термопари 3 і гальванометра 4 для вимірювання температури всередині муфельної печі, порцелянового тигля 5 для прокалювання палива, ексикатора 6 з сірчистою кислотою або хлористим кальцієм для охолодження тиглю після прокалювання.

4.8 Порядок проведення роботи

На аналітичних вагах звішують заздалегідь просушений тигель, потім, наповнюють його подрібненим паливом у кількості 1-2 г. звішують знову. По різності мас тигля з навішуванням палива й пустого визначають масу навішування палива.

Після повторного звішування тигель з паливом ставлять біля самого входу розігрітого муфеля: у такому положенні тигель витримують протягом 10 хв. Це допомагає уникнути бурного виділення летючих речовин та збільшення ними дрібних часток палива. Потім поступово просовують тигель в зону повного накалу муфеля: коли тигель потрапляє в центральну зону печі зі стійкою температурою, дверцята зачиняють. При температурі $800 \pm 25^\circ\text{C}$ ($1070 \pm 20^\circ\text{K}$) прокалюють тигель протягом години.

Після закінчення прокалювання виймають тигель із муфельної печі, охолоджують спочатку на повітрі протягом 5 хвилин, а потім в ексикаторі до кімнатної температури та взвішують. По різності мас тигля з зольним залишком і порожнього тигля визначають масу зольного залишку.

Після вивішування роблять контрольні прокалювання тигля з зольним залишком протягом 15 хвилин кожне до тих пір, поки різниця при двох останніх вивішуваннях буде менше 0,001 г.

Результати вивішування заносять в таблицю 4.2

Таблиця 4.2

Номер тигля	Маса тигля, г.			
	пустого m_1	с навішуванням m_2	с золою після прокалювання m_3	с золою після контрольного взвішування m_4

4.9 Обробка результатів дослідів:

Зольність палива в аналітичній пробі розраховують по формулі:

$$A^a = \frac{wm}{m} \cdot 100 = \frac{m_4 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 / \% \quad (4.4)$$

де: w - маса зольного залишку;

m - маса навішування палива, г.

Для правильної думки про зольність палива визначають зміст золи на суху масу, оскільки при одному і тому ж абсолютному значенні золи в паливі його зольність, виражена у відсотках на робочу масу, залежатиме від його вогкості. Зольність палива на суху масу перераховують по формулі:

$$A^c = A^a \frac{100}{100 - w^a} \quad / \% / \quad (4.5)$$

Перерахунок на робочу масу визначають по формулі:

$$A^p = A^c \frac{100 - w^p}{100} \quad / \% / \quad (4.6)$$

де: w^p ; w^a - вогкість робочої маси в аналітичній пробі відповідно, %.

4.10 Складання звіту:

Звіт по виконаній роботі повинен містити:

1. Протокол записів вимірювань.
2. Обробку результатів досвіду.
3. Порівняння досвідчених даних з табличними відповідно для вологи і зольності палива.

4.11 Контрольні питання завдання:

1. Назвіть елементарний склад твердого палива?
2. Що називають баластом палива?
3. Поясніть різницю в поняттях робоча маса палива, суха, аналітична?
4. Назвіть основні характеристики твердого палива?
5. Перерахуйте горючі елементи твердого палива?
6. Розкрийте поняття: нижча теплота згорання палива, вища, умовне паливо?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Коновалова С. О. Теплофізичні процеси: методичні вказівки до організації самостійної роботи для студентів технічних спеціальностей заочної форми навчання. Краматорськ : ДДМА, 2015. 59 с.

2. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ І ТЕПЛОВІДДАЧІ

5.1 Мета роботи:

Поглибити знання студентів по теорії теплопередачі: експериментально визначити коефіцієнти теплопередачі і тепловіддачі.

5.2 Теоретичні відомості:

Перенесення теплоти від одного рухомого середовища до іншого через одношарову або багатшарову стінку будь-якої форми називається теплопередачею. Теплопередача є складним процесом, у якому теплота передається всіма способами: теплопровідністю, конвекцією і випромінюванням. За наявності стінки процес теплопередачі складається з трьох стадій:

1. Конвективний теплообмін або теплопередача від гарячого теплоносія до стінки.
2. Перенесення теплоти теплопровідністю через стінку.
3. Конвективний теплообмін або тепловіддача від зовнішньої поверхні стінки до холодного теплоносія.

Кількість теплоти, передана гарячим теплоносієм внутрішньої поверхні стінки шляхом конвективного теплообміну (рис. 5.1) визначається по рівнянню Ньютона - Ріхмана:

$$Q = \alpha_1 F (t_1 - t'_{cm}) \tau \quad (5.1)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від гарячого теплоносія з постійною температурою до внутрішньої поверхні стінки, що враховує всі види теплообміну, Вт/м² °C;

t'_{cm} - температура стінки, °C;

F - розрахункова поверхня плоскої стінки, м²;

τ - час, с.

Кількість тепла, яке передається теплопровідністю через плоску стінку, визначається по рівнянню:

$$Q = \frac{\lambda}{d} F (t'_{cm} - t''_{cm}) \tau \quad (5.2)$$

де: d - товщина стінки, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/м °C

Кількість тепла, передане із зовнішньої поверхні стінки до холодного теплоносія визначається по формулі:

$$Q = \alpha_2 F (t''_{cm} - t_2) \tau \quad (5.3)$$

де: α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стінки до холодного теплоносія з температурою Вт/м °C;

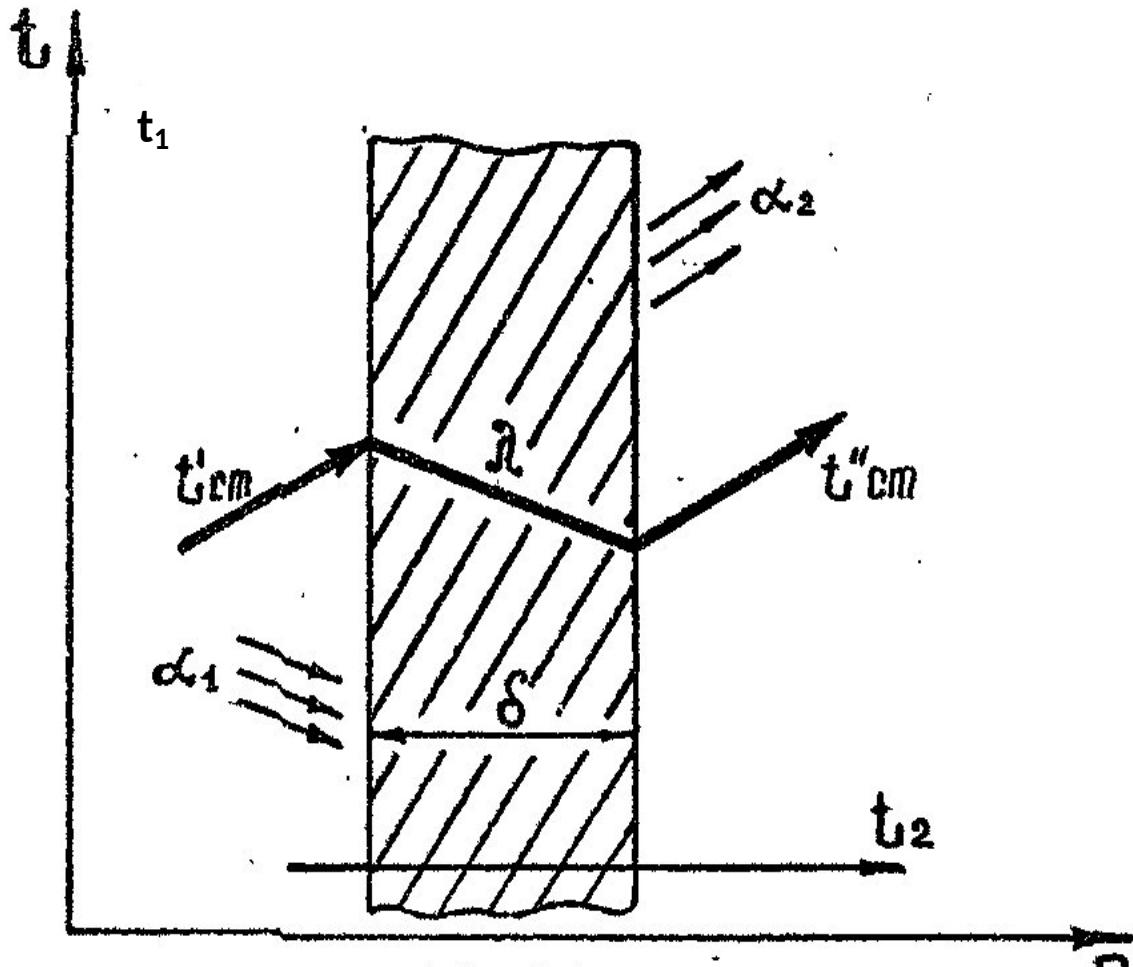


Рис 5.1. Схема передачі гарячим теплоносієм внутрішньої поверхні стінки шляхом конвективного теплообміну

Величина в рівняннях (5.1) і (5.3) однакова: скільки теплоти сприймає стінка при стаціонарному режимі стільки вона і віддає.

Вирішуючи три рівняння перенесення теплоти щодо різниць температур, маємо:

$$t_1 - t'_{cm} = \frac{Q}{\alpha_1 F t}; \quad t'_{cm} - t''_{cm} = \frac{\lambda Q}{l F t}; \quad t''_{cm} - t_2 = \frac{Q}{\alpha_2 F t}$$

Складаючи послідовно одержану рівність визначаємо кількість тепла, передану від гарячого теплоносія до холодного через стінку:

$$Q = F \tau (t_1 - t_2) \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5.4)$$

У рівнянні (5.4) величина $\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$ позначається літерою K , Вт/м², і називається коефіцієнтом теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{a_2}} \quad (5.5)$$

Із розрахунком рівняння (5.5) рівняння (5.4) приймає вид:

$$Q = KF(t_1 - t_2)\tau \quad (5.6)$$

Числове значення коефіцієнта теплопередачі виражає кількість теплоти, що проходить через одиницю поверхні стінки в одиницю часу від гарячого теплоносія до холодного при різниці температур між ними в 1 °С.

В процесі конвективного перенесення теплоти характер перебігу рідини має дуже велике значення, оскільки їм визначається механізм тепловіддачі. Ця кількість теплоти відображає закон Ньютона-Ріхмана:

$$dQ = \alpha dF(t_m - t_{cm})d\tau \quad (5.7)$$

Коефіцієнт тепловіддачі α характеризує інтенсивність теплообміну між рідиною і поверхнею каналу.

За умов вимушеного руху рідини коефіцієнт тепловіддачі істотно залежить від режиму течії. Розрізняють кілька видів потоків, які підкоряються різним закономірностям. У потоці першого роду рідина рухається упорядковано, без пульсацій, утворюючи струмені, паралельні між собою та стінкам каналу. Такий характер руху називається ламінарним. Потік іншого роду називається турбулентним; у ньому відбувається інтенсивне та безперервне перемішування всіх шарів рідини. Зі зростанням швидкості течії збільшується кількість пульсацій і вихорів, що призводить до посилення турбулентності. Рейнольдс показав, що характер руху рідини в круглій трубі визначається величиною:

$$Re = \frac{wd}{\nu} \quad (5.8)$$

де: Re - число Рейнольдса;

w - середня швидкість руху рідини, м/с;

d - діаметр труби, м;

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с.

Число Re являється величиною безрозмірною. До значення $Re = 2000$ потік рідини в трубі залишається ламінарним, при $Re_{кр} = 2 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$ перехідний період, а при $Re \geq 10^4$ – турбулентний.

Інтенсивність конвективного теплообміну на межі “стінка-рідина” визначається безрозмірним числом Нусселта:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda} \quad (5.9)$$

де: α – коефіцієнт тепловіддачі Вт/м² °С;

l – характерний геометричний розмір, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності Вт/м °С.

Чим швидше проходить конвективний теплообмін, тим більше число Nu і тим більше коефіцієнт тепловіддачі α . Для визначення для середнього по довжині труби коефіцієнта тепловіддачі для повітря визначаємо критерій Нуссельта по формулі:

$$Nu = 0,018 Re^{0,8} \Sigma_e \quad (5.10)$$

де: $\Sigma_e = \frac{l}{d}$, при $\frac{l}{d} \geq 50$ $\Sigma_e = 1$, якщо значення $\frac{l}{d} < 50$, тоді Σ_e визначають

по таблицям.

Порядок проведення роботи:

1. Наповнити водою кожух **3** крізь отвір **4** (рис. 5.2).
2. Увімкнути електричний нагрівач **6**, довести температуру води до кипіння (100 °С), прогріти установку протягом 20 – 25 хвилин.
3. Увімкнути вентилятор для подачі повітря через трубку **1** та за 3 хвилини заміряти показання термометра, та перепад тиску на витратомірній шайбі **8**.
4. Змінюючи витрати повітря шляхом зміни числа обертів вентилятора, дослід повторити п'ять раз. Зміни величини занести в таблицю 5.1.

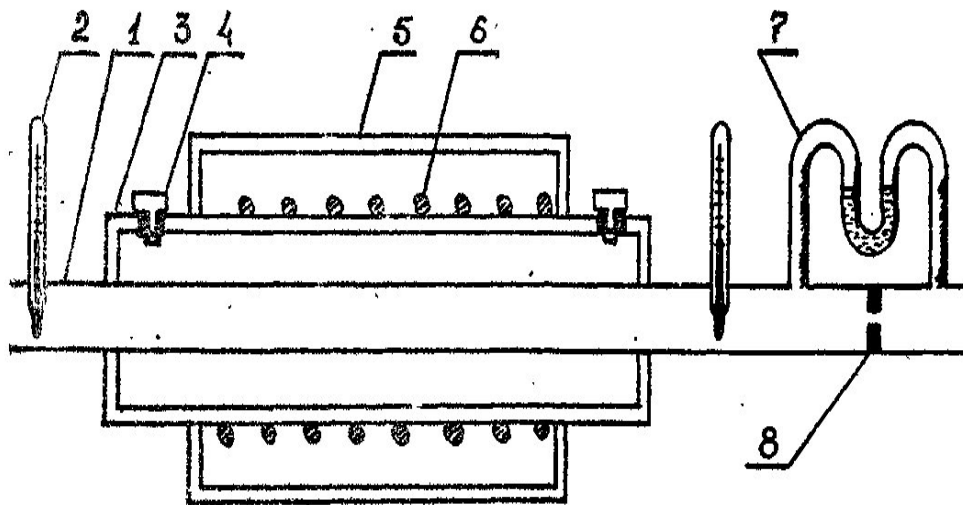


Рис 5.2. Пристрій для визначення коефіцієнту теплопередачі та тепловіддачі

- 1 – латунна трубка; 2 – термометр; 3 – кожух;
 4 – отвір з пробкою; 5 – теплоізоляція; 6 – електронагрівач;
 7 – дифманометр; 8 – витратомірна шайба.

Таблиця 5.1

Вимірювана величина	Одиниця вимірювань	Номер досліду				
		1	2	3	4	5
	мм. вод. ст.					
	t °C					
	t_1 °C					
	t_2 °C					

5.4 Порядок розрахунку:

1. Визначити секунду витрату в трубці:

$$V = 0,25 \cdot 10^{-5} \sqrt{\Delta h}$$

де Δh – перепад тиску на витратній шайбі, Н/м² (1 мм. вод. ст. = 9,8 Н/м²)

2. Визначити тепловий потік, який передається від киплячої води до повітря:

$$Q^1 = V C_{cp} (t_2 - t_1) \quad (5.11)$$

де t_2 і t_1 взяти з таблиці 5.1

$C_{cp} = 1310 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{C}}$ - середня об'ємна теплоємність повітря.

3. Вирахувати середню поверхню теплообміну:

$$F = \pi \frac{d_1 + d_2}{2} l \quad (5.12)$$

де d_1 – внутрішній діаметр трубки ($d_1 = 0,023$ м);

d_2 – зовнішній діаметр трубки ($d_2 = 0,025$ м);

l – довжина трубки яка омивається водою (0,7 м)

4. Вирахувати температурний напір:

$$\Delta t = \frac{Dt' - Dt''}{2,3 t_k \frac{Dt'}{Dt''}} \quad (5.13)$$

де $\Delta t' = t_k - t_1$ – різниця температури киплячої води $t_k = 100^\circ\text{C}$ та температура повітря t_1 ;

$\Delta t'' = t_k - t_2$ – різниця температури киплячої води t_k та температура повітря t_2 ;

5. Розрахувати коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{Q^1}{F \Delta t} \quad (5.14)$$

6. Вирахувати середню швидкість руху повітря по трубці:

$$W = \frac{uT_{cp}}{273,15f} \quad (5.15)$$

де $T_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} + 273,15$, середня абсолютна температура повітря в трубці;

f – площа прохідного перетину трубки, m^2 , $f = \frac{\rho d^2}{4}$

7. Визначити величину критерію Рейнольдса:

$$Re = \frac{wd}{\nu} \quad (5.16)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, підрахований по середній температурі всередині трубки $T_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}$ по таблиці 5.2

Величина	Середня температура t_{cp} °C			
	30	40	50	60
$\lambda \cdot 10^{-2}$	2,3	2,37	2,43	2,48
$\nu \cdot 10^{-6}$	16,00	16,96	17,95	18,97

8. Визначити величину критерію Нуссельта:

$$Nu = 0,018 Re^{0,8} \quad (5.17)$$

9. Вирахувати коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої стінки трубки до повітря:

$$\alpha_2 = \frac{Nu\lambda}{d_1} \quad (5.18)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності повітря підраховується по таблиці 5.2 з урахуванням середньої температури повітря всередині трубки.

10. Вирахувати коефіцієнт тепловіддачі від киплячої води та зовнішньої поверхні трубки:

$$\alpha_2 = \frac{1}{\frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda}} \quad (5.19)$$

де S – товщина стінки трубки, m $S = \frac{d_2 - d_1}{2}$

λ – коефіцієнт теплопровідності латуні.

11. Результати розрахунків оформити в таблиці 5.3

12. Побудувати графічні залежності коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі від витрат повітря в трубці:

$$K = f(V); \alpha_1 = f(V); \alpha_2 = f(V). \quad (5.20)$$

Таблиця 5.3

Визначальна величина	Одиниці вимірювання	Номер досліду				
		1	2	3	4	5
V	м ³ /с					
Q'	Дж/с					
K	$\frac{Вт}{м^2 \cdot C}$					
ω _{ср}	м/с					
Re	-					
N	-					
α ₁	$\frac{Вт}{м^2 \cdot C}$					
α ₂	$\frac{Вт}{м^2 \cdot C}$					

5.5 Складання звіту:

1. Назва та мета роботи.
2. Короткі теоретичні відомості та креслення установки.
3. Хід роботи та розрахунок у зошиті.
4. Графік залежності коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі від витрат повітря.
5. Висновки о проведеній роботі.

5.6 Контрольні питання завдання:

1. У чому полягає фізичний сенс процесу теплопередачі?
2. Сутність рівняння Ньютона-Рихмана?
3. Напишіть математичний вираз коефіцієнта теплопередачі?
4. Як впливає характер течії рідини на механізм теплопередачі?
5. Від яких величини залежить коефіцієнт тепловіддачі?
6. Від яких величин залежить коефіцієнт Рейнольдса, Нуссельта?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Золотовська О. В. Пугач А. М., Теслюк Г. В. Курс лекцій з теплотехніки: навч. посіб. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 274 с.
2. Коновалова С. О. Теплофізичні процеси: методичні вказівки до організації самостійної роботи для студентів технічних спеціальностей заочної форми навчання. Краматорськ : ДДМА, 2015. 59 с.
3. Кошмак О. Р. Магистерская диссертация на тему «Отопление коттеджного дома с использованием керамических электронагревателей»: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 96 с.
4. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

6.1. Мета роботи:

Вивчити теоретичні основи роботи вентилятора, вивчити пристрій відцентрового вентилятора, визначити характеристики (робочі) відцентрового вентилятора.

6.2 Теоретичні відомості:

Вентиляторами називаються, машини які перемішують газові середовища: при ступені підвищення тиску до 1,15 (ступінь підвищення тиску - відношення тиску газу на виході машини до тиску на вході). У техніці вентиляції і кондиціонуванні повітря застосовують відцентрові і осьові вентилятори. Відцентрові вентилятори по створюваному тиску поділяються на вентилятори: низького тиску - до 1000 Н/м^2 , середнього тиску - до 3000 Н/м^2 , високого тиску - до 15000 Н/м^2 . У вентиляційній техніці застосовують вентилятори низького і середнього тиску. Для переміщення запорошеного повітря також пневмотранспорт застосовуються вентилятори середнього і високого тиску. З сімейства відцентрових вентиляторів найбільше поширення набули наступні конструкції:

- вентилятори з коліном «Сірокко»;
- вентилятори ЦАГІ;
- вентилятори ВРС (конструкції С.А.Рисіна).

Робота відцентрового вентилятора (рис. 6.1) полягає в наступному. При обертанні робочого колеса частинки повітря захоплюються лопатками робочого колеса в обертальний рух, внаслідок чого на частинки повітря починають діяти відцентрові сили, які направлені від центру до стінок кожуха. В центрі обертання і у всмоктуючому патрубку 5-недостаток частинок повітря або розрідження. Під дією різниці атмосферного тиску і розрідження у всмоктуючому патрубку нові порції повітря потрапляють з атмосфери через всмоктуючий патрубок до центру обертання.

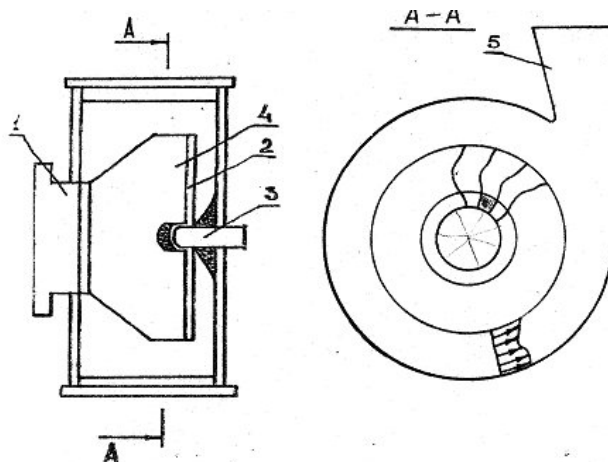


Рис. 6.1 Схема відцентрового вентилятора.

Де: 1- всмоктуючий патрубок; 2- робоче колесо; 3- вал; 4- робчі лопатки; 5- нагнітальний патрубок.

Робота відцентрових сил в міжлопатевих каналах приводить до зміни енергії потоку. Остання зростає в напрямленні руху від центру до периферії колеса.

Як відомо, рівняння збереження енергії для відносного руху нестискуваної, не в'язкою рідиною у обертаючихся порожнинах має вигляд:

$$\frac{P}{\rho} + gz + \frac{v^2}{2} - R^2 \frac{\omega^2}{2} = const \quad (6.1)$$

де v - відносна швидкість, тобто швидкість потоку відносно колеса, що обертається;

P – тиск;

ρ – щільність;

z - геометричний натиск;

R - радіус робочого колеса;

ω - кутова швидкість.

Якщо вісь робочого колеса вертикальна, і рух у його каналах був плоским, то $z = const$ і рівняння відносного руху для перетинів на вході і виході колеса має вигляд:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{U_1^2}{2} - R_1^2 \frac{\omega^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{U_2^2}{2} - R_2^2 \frac{\omega^2}{2} \quad (6.2)$$

З рівняння (6.2) можна знайти перевищення тиску в потоці, проходячи через колесо відцентрової машини:

$$P_2 - P_1 = \frac{\rho}{2}(U_1^2 - U_2^2) + \frac{\rho}{2}(R_2^2 \omega^2 - R_1^2 \omega^2) \quad (6.3)$$

Рівняння (6.3) показує, що тиск, створюваний колесом відцентрової машини, є результат двох процесів:

- перетворення кінетичної енергії відносного руху (перший член рівняння):

- роботи відцентрових сил (другий член рівняння).

Передача енергії з валу машини потоку рідини або газу відбувається шляхом безпосередньої силової дії лопастей на потік.

Енергія, яка передається рідині або газу робочим колесом відцентрової машини, визначається в основному значеннями абсолютної, відносної і окружної швидкостей на вході і виході між лопатевих каналів. Паралелограми цих швидкостей приведені на рис. 6.2.

Елементи паралелограмів швидкостей та геометричний розмах колеса, які відносяться до входу і виходу міжлопатних каналів, відмічаються відповідно індексами **1** і **2**. У теорії та розрахунках відцентрованих машин використовують окружну та радіальну складаючих абсолютних та відносних швидкостей, які визначаються індексами **u** та **r**, наприклад: окружна проекція **C_{20u}** відповідна абсолютній швидкості на виході із робочого колеса. Застосовний до потоку, що проходить через робоче колесо машини, рівняння моментів кількості руху. Передбачається, що потік, який проходить через міжлопатеві канали, плоский, тобто визначається тільки двома компонентами – **C_u** і **C₂**.

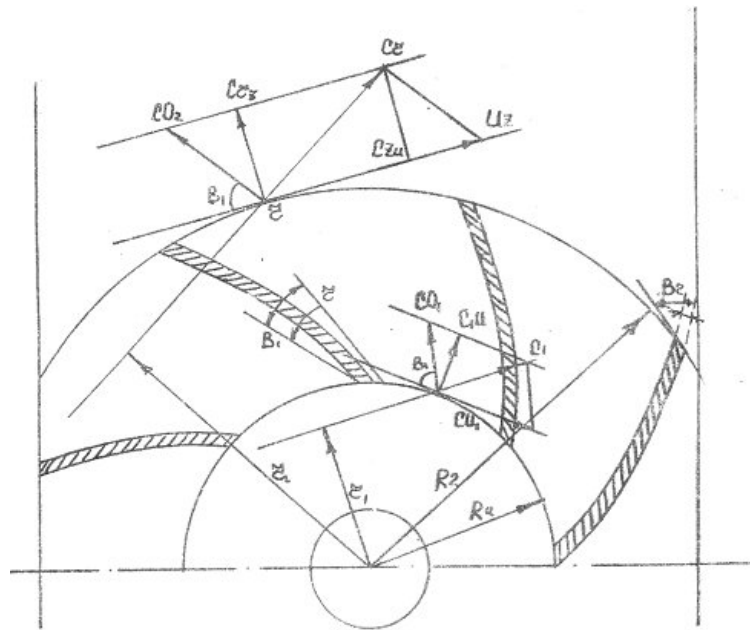


Рис. 6.2. Паралелограми швидкостей на вході та виході міжлопатевих каналів:

u - окружна швидкість;

v - відносна швидкість, тобто швидкість потоку щодо колеса, яке обертається;

C - абсолютна швидкість або швидкість газу щодо нерухомого корпусу машини.

Крім того, будемо вважати, що вплив робочих лопастей на потік такий істотний, що швидкості в усіх точках циліндричних перетинів постійного радіусу зберігаються постійними. Це можливо тільки при дуже великій, (умовно-нескінченному) кількості тонких лопастей.

Якщо колесо пропускає витрату Q рідин або газу з щільністю ρ , то моменти секундних кількостей руху на вході і виході між лопатевих каналів відповідно до рис. 6.2. будуть:

$$r_1 Q C_1 r_1 ; r_2 Q C_2 r_2 .$$

Імпульс зовнішнього моменту, діючого на масу рідини, що проходить через колесо, рівний вимірюванню моменту кількості руху цієї маси, тому:

$$DtM_{T\infty} = (r_2 Q C_2 r_2 - r_1 Q C_1 r_1)Dt \quad (6.4)$$

де: $M_{T\infty}$ - теоретичний момент, прикладений до потоку в міжлопатевих каналах, при нескінченній кількості лопастей. Момент, що підводиться до валу машини, більше $M_{T\infty}$ унаслідок механічного тертя в підшипниках і ущільненнях валу і (газового) тертя неробочої стороні коліс об рідину (газ). Уведемо в рівняння (6.4) конструктивні радіуси, маючи на увазі, що

$$r_1 = R_1 \cos a_1 \text{ і } r_2 = R_2 \cos a_2$$

Тоді

$$M_{T\infty} = r Q (R_2 C_2 \cos a_2 - R_1 C_1 \cos a_1)$$

З рис. 6.2 слідує, що:

$$C_1 \cos a_1 = C_{1u} ; C_2 \cos a_2 = C_{2u}$$

Тому

$$M_{T\infty} = r Q (R_2 C_{2u} - U_1 C_{1u})$$

Потужність, яка передається потоку в міжлопатевих каналах,

$$N_{T\infty} = r Q (U_2 C_{2u} - U_1 C_{1u})$$

Якщо позначити величину питомої кінетичної енергії без урахування втрат енергії в проточній частині колеса, то теоретична потужність $N_{T\infty}$ вентилятора

$$N_{T\infty} = r Q L_{T\infty}$$

Зіставляючи вирази (6.6) і (6.7), одержуємо

$$L_{T\infty} = U_2 C_{2u} - U_1 C_{1u}$$

Питома робота і натиск зв'язані залежністю:

$$L_{T\infty} = g H_{T\infty}$$

Отже, з рівняння

$$H_{T\infty} = \frac{U_2 C_{2u} - U_1 C_{1u}}{g}$$

де $H_{T\infty}$ - теоретичний натиск колеса відцентрового вентилятора при нескінченному кількості лопастей. Рівняння / 6.9 / вперше одержане Л.Ейлером в 1754 р. Дійсний натиск, створюваний колесом, менше теоретичного при нескінченній кількості лопастей: поперше, це пояснюється тим, що частина енергії, отриманої рідиною в робочому колесі, витрачається за подолання гідравлічних опорів в проточній частині машини. Ці втрати враховуються гідравлічним к. п. д. По-друге, вказана нерівність обумовлена відхиленням дійсної картини течії від передбачуваної

струменевої при нескінченній кількості лопастей. Це враховується введенням поправочного на кінцева кількість лопастей:

$$H = h_2 m H_{T\psi}$$

$$\text{Де } h = 0.0 \dots 0.96$$

$$m \approx 1 (\approx 0.8)$$

Продуктивністю вентилятора називається кількість повітря, що подається вентилятором в мережу в одиницю часу, приведене до умов всмоктування,

6.3 Опис установки:

Експериментальна установка /рис. 6.3/ складається з центробіжного вентилятора 1, асинхронного електродвигуна 2, всмоктуючого патрубку 3, нагрівального патрубку 4, трубопроводу 5, діафрагми / шайби / 6.

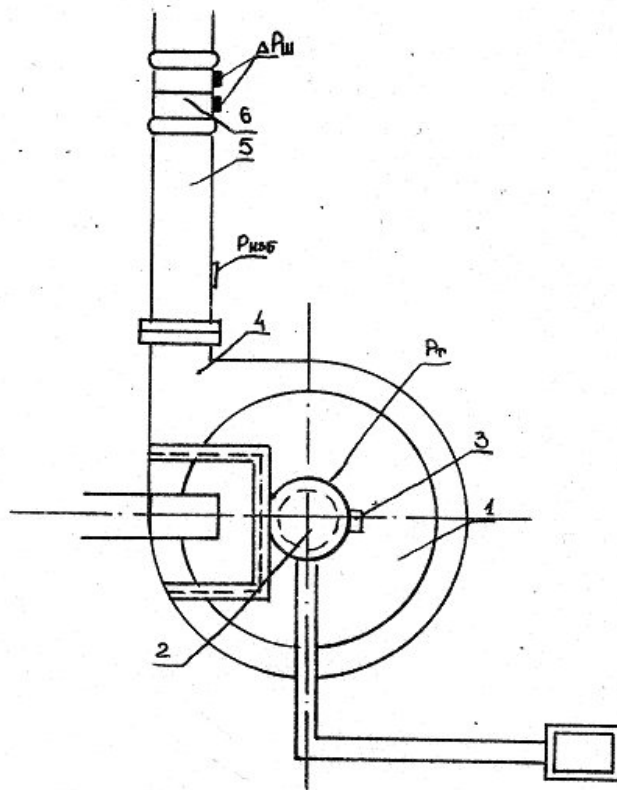


Рис.6.3 Схема вентилятора.

6.4 Хід роботи:

1. Включаємо установку в мережу,
2. Після набору електродвигуном оборотів встановити заслінку у первинне положення /засланку зачинено/.
3. Змінював положення заслінки, виконати вимірювання
4. Виробити виміри потужності електродвигуна за допомогою киловаттметра.

5. Результати зміни тиску фіксувати по мікроманометру в наступному порядку: розрідження у всмоктуючому патрубку P_t ;

- надмірний тиск в нагнітальному патрубку Р_{ізб}. ;
- тиск порід шайбою Р₁;
- розрідження після шайби Р₂ ;

Свідчення приладів записати в табл. 6.1, перевівши одиниці вимірювання в систему СІ. За одержаними даними розрахувати для кожного вимірювання. Результати вимірювань

Таблиця. 6.1

№	Вимірювання величини	Одиниці вимірювання	№ досвіду	
			1	2
1	Н _{дв} - потужність ел. двигуна	кВт		
2	Р _т - свідчення тягоміра	Н/м ²		
3	Р _{ізб} - надмірний тиск в трубопроводі	Н/м ²		
4	Р ₁ - тиск перед шайбою	Н/м ²		
5	Р ₂ - тиск після шайби	Н/м ²		

6.5 Порядок розрахунку

1. Продуктивність вентилятора ;

$$V = 0,64 \cdot 10^{-2} \sqrt{\Delta P_{ш}} \quad \Delta P_{ш} = P_1 - (-P_2) = P_1 + P_2$$

де V - продуктивність вентилятора м³/с ;

$\Delta P_{ш}$ - перепад тиску на шайбі, Н/м² ;

P₁ - тиск перед шайбою, Н/м²;

P₂ - розрідження після шайби, Н/м²

2. Потужність, споживана на привід вентилятора,

$$N_B = N_d \cdot h_{дв}$$

де N_г - потужність - електродвигуна ;

h_{дв} - к.п.д. електродвигуна, прийняти рівним 0,85.

3. Перепад тиску, створюваний вентилятором,

$$\Delta P_B = R_{изб} - (-R_г) = R_{изб} + R_г$$

де P_в - перепад тиску, створюваний вентилятором, Н/м² ;

R_{изб} - надмірний тиск в нагнітальному патрубку, Н/м²

P_т - розріджений у всмоктуючому патрубку, Н/м² ;

4. К.П.Д. вентилятора:

$$h = \frac{V \Delta P_B}{N_B} \cdot 100\%$$

Всі розрахункові величини внести в табл. 6.2 Побудувати графічні залежності к.п.д., потужності на приводі і перепаду тиску, створюваного вентилятором, від продуктивності вентилятора:

$$h = f(V)$$

$$\Delta P_R = f(V)$$

$$N_B = f(V)$$

Результати розрахунків.

Таблиця 6.2

п/ п	Вимірювання величини	Одиниці вимірювання	№ досвіду				
	Продуктивність вентилятора V	M^3/c					
	Перепад тиску на шайбі $\Delta P_{ш}$	H/m^2					
	Потужність вентилятора N_B	Вт					
	Перепад тиску на вентиляторі ΔP	H/m^2					
	К.П.Д. вентилятора η_B						

6.6 Контрольні питання:

1. Принцип роботи відцентрового вентилятора.
2. Типи вентиляторів.
3. Як визначається продуктивність вентилятора?
4. Що таке к.п.д. вентилятора?
5. Чому змінюється потужність на приводі вентилятора?
6. Що таке продуктивність вентилятора?
7. Що таке расходомерна шайба?
8. Що таке надмірний тиск?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7 ПЕРЕВІРКА ТЕХНІЧНИХ І ЛАБОРАТОРНИХ ПРУЖИННИХ МАНОМЕТРІВ

Мета: встановлення приналежності приладу (технічного манометра) до привласненому йому класу точності і визначення величин виправлень тиску P , що компенсують основну систематичну похибку при різних значеннях тиску P_i приладу (лабораторного манометра).

1.1 Загальні положення

Найбільш розповсюдженими в техніці є трубчасті пружинні манометри. Вони дозволяють вимірювати тиск в широкому діапазоні. Основною частиною пружинного манометра (рис. 1.1) є зігнута по дузі кола порожня трубка 1, що має в перетині овальну форму. Один кінець її запаяний і з'єднаний з механізмом 2, на якому закріплена стрілка 4, що ковзає по круглому циферблату 5.

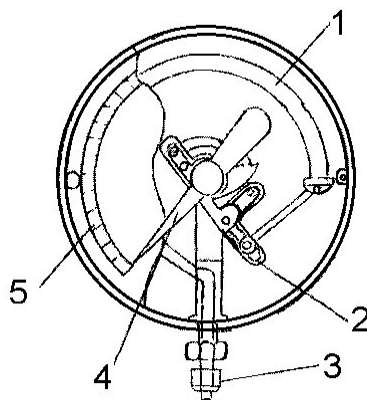


Рис. 1.1. Схема пружинного манометра:
1 - трубка; 2 - передавальний механізм;
3 - штуцер; 4 - стрілка; 5 - циферблат

Інший кінець трубки з'єднаний за допомогою штуцера 3 із посудиною для якої вимірюється тиск. Під дією тиску трубка 1 прагне випрямитися і відхиляє стрілку 4 і показує тиск на циферблаті 5, який проградуєований в одиницях виміру тиску.

Основним недоліком пружинних манометрів є нестабільність їхніх замірів, яка викликана рядом причин: пружиною післядією деформованого елемента, поступовою зміною пружних властивостей цього елемента, можливим виникненням залишкової деформації в ньому, зносом передавального механізму. Зазначені недоліки змушують періодично перевіряти пружинні прилади, щоб підтвердити клас точності або визначити виправлення, що компенсують систематичні похибки приладів.

Якість приладу характеризується класом точності, що характеризується числом K' , і виражає найбільшу допустиму похибку D_{\max} у відсотках від граничного значення N шкали:

$$K\phi = \frac{A_{\max}}{N} \times 100\% \quad (1.1)$$

Для вимірів у робочих умовах звичайно застосовують манометри класів 0,5-6, які називаються технічними. Прилади класів точності 0,4 і вище застосовують як зразкові для перевірок і градування технічних манометрів і як робочі для вимірів високої точності.

При призначенні класу точності враховують величину порогу чутливості і варіації показань.

Порогом чутливості ΔN називають найменше значення вимірюваної величини, здатне викликати зміну показань приладу, помітне при візуальному спостереженні. Величина порогу повинна бути мала в порівнянні з основною припустимою похибкою ($\Delta N \leq 0,5 A_{\max}$).

Варіацією називають найбільшу можлива різниця між повторними, знятими через визначені проміжки часу, показаннями приладу при тому самому значенні вимірюваної величини. Величина варіації m , не повинна перевищувати половину від величини основної допустимої похибки ($m \leq 0,5 A_{\max}$).

При перевірці будь-якого приладу порівнюють показання приладу, що перевіряється, з показаннями зразкового. При виборі зразкового приладу для перевірки враховують наступні вимоги:

- 1) верхня межа зразкового приладу повинний перевищувати верхню межу приладу, що перевіряється;
- 2) максимальна абсолютна похибка зразкового приладу повинна бути, принаймні, у 4 рази менше максимальної абсолютної похибки приладу, що перевіряється.

1.1 Конструкція експериментальної установки.

Установка для перевірки пружинних манометрів (рис. 1.2) включає вантажопоршневий зразковий манометр 1, що встановлюється строго вертикально за допомогою регулювальних гвинтів і рівня. Вантажопоршневий манометр за допомогою кранів 2, 6, 8 і 9 і трубки 7 приєднаний до бачка з олією 3 і манометрів, що перевіряються, 4 і 5. Трубка 7 заповнюється олією, що надходить з бачка 3 через кран 2. Для зміни тиску олії у трубці 7 приєднано пресовий пристрій, що представляє собою циліндр із поршнем 11, який переміщується в ньому. Переміщення поршня здійснюється обертанням його гвинтового штока 12 маховиком 13.

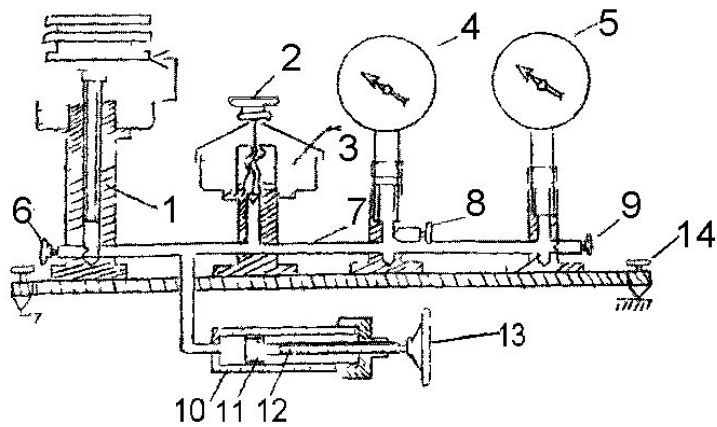


Рис. 1.2. Схема установки для перевірки пружинних манометрів: 1 - вантажопоршневий зразковий манометр; 2, 6, 8, 9 - крани; 3 - бачок з олією; 4, 5 - манометри, що перевіряються; 7 - трубка; 10 - циліндр; 11 - поршень; 12 - шток; 13 – маховик; 14 – гвинти регулювочні.

1.2 Порядок проведення лабораторної роботи

Пружинні манометри перевіряють у такій послідовності:

1. Манометри 4 і 5, що перевіряються, приєднують до установки.
2. Кранами 6, 8 і 9, зразковий і прилади, що перевіряються, відключають від пресового пристрою.
3. Циліндр пресового пристрою заповнюють олією, для чого відкривають кран 2 і, обертанням маховика 13, поршень спочатку встановлюють у крайнє ліве положення, а потім у крайнє праве положення. Після чого кран 2 закривають.
4. Гвинтами 14 прилад встановлюють у горизонтальне положення (за рівнем).
5. Призначають фіксажні крапки на шкалі манометрів 4 і 5, що перевіряються. Останні повинні бути рівномірно розподілені по шкалі. Число крапок, що перевіряються, залежить від класу точності приладу. Манометри класів 4-6 перевіряють у трьох крапках, класів 1-2,5 - у п'ятьох, класів 0,5-1,0 - у десятих крапках. Тиск P_{oi} у призначених для перевірки крапках записують до протоколу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Найменування Вимірів	Позначення	Значення Величин			
		i=0	i=1	i=2	i=n
1	2	3	4	5	6
Показання зразкового приладу	P_{oi}				
Початкове положення стрілки приладу, що перевіряється					
Показання приладу, що перевіряється, при першому навантаженні	P_{hx}				
Показання приладу, що перевіряється, при першому розвантаженні					
Показання приладу, що перевіряється, при другому навантаженні					
Показання приладу, що перевіряється, при другому розвантаженні	P_h'				
Положення стрілки приладу, що перевіряється, після розвантаження	P_p'				
Середньоарифметичне значення тиску	$P_{срі}$				
Абсолютна систематична похибка виміру	D_i				
Виправлення до показань манометра, що перевіряється					
Найбільша розбіжність показань приладу					
Найбільший зсув стрілки від постукування					
Найбільше відхилення стрілки від нульового розподілу					
Найбільша допустима класом точності похибка	D_{max}				

6. Початкове положення вказівної стрілки приладу, що перевіряється, відзначають записом у протоколі.

7. Під плунжером зразкового вантажопоршневого манометра утворюють тиск P_{oi} , рівний тискові в першій крапці, призначеної для перевірки. Вантаж, що відповідає цьому тискові, поміщають на вантажопіднімальну тарілку, кран 8 відкривають і поршень пресового пристрою вводять у циліндр до положення, при якому плунжер спливає і тарілка розташовується на рівні покажчика. При

цьому плунжер обертають (20-50 об/хв), що перешкоджає відхиленню осі плунжера від вертикального положення і появі сил сухого тертя,

8. Після постукування по корпусу манометра 4, що перевіряється, у протокол записують його показання.

9. Операції 7 і 8 повторюють для всього ряду послідовно зростаючих тисків P_{oi} відповідних наміченим для перевірки крапкам ($i = 1, 2, \dots, n$).

По досягненні максимального тиску, зразковий і манометри 4 і 5, що перевіряються, витримують під тиском протягом 5 хв. Потім перевірку повторюють для тих же крапок, але послідовно знижуючи тиск P_{oi} . При цьому знімають показання P_{pi} манометра, що перевіряється.

10. Досвід у тій же послідовності повторюють.

11. Записують до протоколу положення стрілки манометру, що перевіряється після розвантаження.

12. Аналогічним образом по п.п. 1-11 перевіряють інший пружинний манометр 5 (меншого класу точності) за показниками зразкового пружинного манометра. У якості зразкового в цьому випадку служить тільки що перевірений пружинний манометр 4 з більшими класом точності. При цьому вантажопоршневий манометр відключають.

1.4. Обробка і аналіз експериментальних даних

1. Розраховують середнє арифметичне замірів досліджує мого манометра, отриманих при даному тиску P_{oi} , зразкового манометра.

$$P_{cpi} = \frac{P_{hi} + P_{pi} + P_{hi}^{\text{ср}} + P_{pi}^{\text{ср}}}{4} \quad (1.2)$$

2. Отримане значення P_{cpi} відрізняється від істинно діючого тиску P_{oi} на величину систематичної похибки.

$$D_1 = P_{cpi} - P_{oi} \quad (1.3)$$

3. Аналогічно при кожнім, призначеному для перевірки тиску обчислюють абсолютну систематичну похибку виміру

4. З формули (1.1) визначають максимально допустиму класом точності похибку (для технічного манометра).

$$D_{\max} = \frac{KN}{100} \quad (1.4)$$

Де K – клас приладу;

N - граничне значення шкали приладу.

Якщо D_{\max} перевищує отриману при перевірці найбільшу абсолютну систематичну похибку, найбільшу розбіжність показань приладу, найбільше відхилення стрілки від нульового розподілу при розвантаженому приладі, то

перевірка підтверджує клас точності приладу і прилад допускається до експлуатації.

5. Для лабораторного приладу обчислюють поправку DP_i для значень P_{cpi} у кожній крапці, що перевіряється.

$$DP_i = P_{oi} - P_{cpi} \quad (1.5)$$

6. Будують графік залежності $DP_i = f(P_{cpi})$, де на координатній площині зображуються крапки з абсцисами P_{cpi} і ординатами DP_i .

1.5. Висновки і пропозиції

Указати, який з манометрів, що перевіряються, можна допустити до експлуатації, а який не можна і чому.

Питання для самоперевірки

1. За якими критеріями визначається відповідність пружинного манометра присвоєному йому класові точності?
2. Написати основне рівняння гідростатики та пояснити його фізичний зміст.
3. Назвати манометри з пружними елементами й описати їхню конструкцію.

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Герман В. Ф., Каплун І. П., Панченко В. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій. Суми: Сумський державний університет, 2012. 56 с.
2. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8 ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ

Мета: побудова по вимірах п'єзометричної і напірної ліній, що відображають зміни питомої потенційної і питомої кінетичної енергії потоку, що входять в рівняння Бернуллі.

2.1. Загальні положення

В основі енергетичної характеристики руху реальної рідини лежить загальний закон збереження механічної енергії, аналітичним вираженням якого є рівняння Бернуллі - рівняння балансу питомої енергії рідини, що рухається, (потоку).

При стійкому русі реальної рідини (коли в кожній фіксованій у просторі крапці потоку швидкість і тиск не змінюються в часі) рівняння Бернуллі, віднесене до двох послідовних перетинів потоку, записується в такому виді:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho} + a_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho} + a_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_w \quad (2.1)$$

де Z_1, Z_2 – геометричні висоти фіксованих крапок у перетинах 1 і 2 щодо довільної горизонтальної площини 0-0 (рівень порівняння), рис. 2.1;

P_1, P_2 – гідродинамічний тиск у тих же крапках перетинів

V_1, V_2 – середні швидкості потоку в перетинах 1 і 2;

a_1, a_2 – коефіцієнти, що враховують нерівномірність розподілу швидкостей у живих перетинах потоку і що вказують відношення дійсної кінетичної енергії потоку до кінетичної енергії, обчисленої по середній швидкості; числові значення цих коефіцієнтів найчастіше встановлюються дослідним шляхом.

h_w – питома механічна енергія, затрачена на подолання опору рухові рідини між перетинами потоку і яка перетворюється у теплову енергію, що складається з наступних додатків:

$$h_w = h_g + h_m$$

де h – втрата енергії (напору) на тертя по довжині каналу;

h_g – місцеві втрати енергії (напору).

Усі члени рівняння Бернуллі у формулі (2.1) мають лінійну розмірність і в енергетичному змісті представляють питому енергію рідини, тобто енергію, віднесену до одиниці ваги рідини. У гідравліці питома енергія потоку називається потоком. Сума членів являє собою питому потенційну енергію

поток - п'езометричний (гідростатичний) напір. Ця енергія поділяється на питому потенційну енергію положення Z (обумовлену силою земного тяжіння) і питому потенційну енергію тиску P/g (від зовнішньої прикладеної сили). Член a — виражає питому кінетичну енергію потоку - швидкісний (динамічний) напір. Сума всіх трьох членів

$$Z + \frac{P}{\rho} + a \frac{V^2}{2g} = H \quad (2.2)$$

Представляє повний запас питомої механічної енергії рідини в даному перетині потоку (гідродинамічний напір).

Напори можуть бути безпосередньо обмірювані в досліді, п'езометричний напір вимірюється п'езометром, а швидкісний напір (у даній крапці потоку) - трубкою Піто.

Рівняння Бернуллі розглядається разом з гідравлічним рівнянням нерозривності, що виражає закон сталості об'ємів вздовж потоку.

$$Q = V_1 w_1 = V_2 w_2 = V_i w_i = \text{const} \quad (2.3)$$

де Q - витрата рідини, тобто обсяг рідини, що проходить через живий перетин потоку в одиницю часу, м³/с;

w - площу живих (ортогональних до ліній потоку) перетинів потоку рідини.

З рівняння (2.3) визначається середня (інакше випадкова) швидкість потоку, м/с, у розглянутому живому перетині

$$V_i = \frac{Q}{w_i} \quad (2.4)$$

Рівняння Бернуллі можна представити графічно у вигляді діаграми балансу напорів на ділянці руху рідини.

Втрати напору по довжині, що приходяться на одиницю довжини, виміряною вздовж осі S-S потоку, називаються гідравлічним ухилом і позначаються I ; величину I записують як

$$I = + \frac{dh_g}{dS} \quad (2.5)$$

При рівномірному русі рідини $I = \text{const}$ (вздовж потоку), тому напірна лінія e-e являє собою похилу пряму лінію.

При нерівномірному русі $I \neq \text{const}$ (вздовж потоку), отже, в цьому випадку, напірна лінія e-e буде кривою лінією, випуклість якої спрямована або вниз (потік поступово розширюється), або нагору (потік поступово звужується).

Місцева втрата напору зосереджена на ділянці малої довжини в порівнянні з загальною довжиною трубопроводу, тому прийнято зображати цю втрату напору при побудові лінії у вигляді вертикальної "сходинки".

2.2. Конструкція експериментальної установки

Установка (рис. 2.2) включає трубопровід, зварений із труб різних діаметрів, причому вісь трубопроводу похила.

Вода надходить у трубопровід з напірного бака, у який вона подається з міської мережі. Рівень води в напірному баку підтримується на постійному рівні за рахунок злива надлишків води. На початку і кінці трубопроводу розташовані вентиля для регулювання витрати води і примусової зміни рівнів води в п'єзометрах на деяку зручну для роботи висоту шляхом створення на вході в трубопровід додаткового опору. Вздовж трубопроводу підключені п'єзометри для виміру п'єзометричного (гідростатичного) напору в перетинах. Усі п'єзометри виведені на щит, який має шкали відліку. Нулі цих шкал розташовані на одному рівні, що збігається з горизонтальною площиною порівняння 0-0.

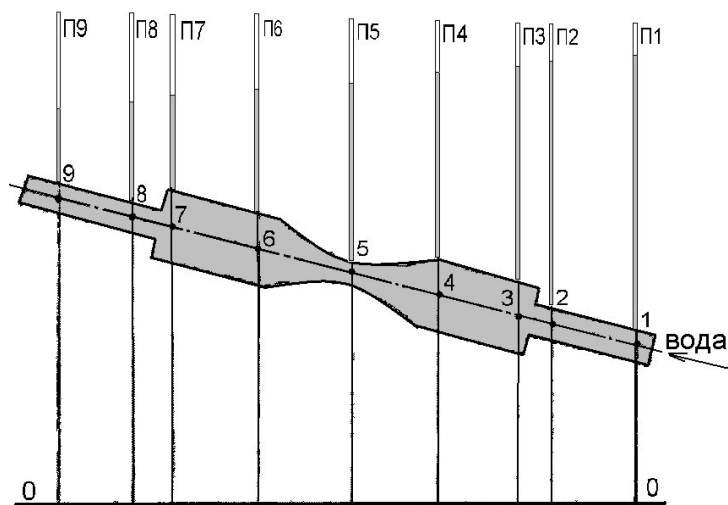


Рис.2.2. Порядок проведення лабораторної роботи

1. Для побудови діаграми рівняння Бернуллі потрібно виконати один дослід. З цією метою відкривають кран міської мережі і наповнюють напірний бак до рівня, що відповідає початку додаткового відливу води. Відкривають вентилі на трубопроводі і встановлюють довільний, але постійний рівень води. Величина витрат повинна обумовлювати таку швидкість потоку в трубопроводі, при якій здійснюється «квадратична область опору»

Виміри роблять після того, як рух води в трубопроводі буде сталим.

2. За допомогою водоміра Вентурі визначають величину витрати води Q , м³/с, для чого визначають Dh , як різницю рівнів у п'єзометрах водоміра P_4 і P_5 . Потім, знаючи Dh і користуючись тарувальною кривою, знаходять Q . (Витрати можуть бути визначені також об'ємним способом за часом заповнення мірного бака в секундах).

4. Показання п'єзометрів $(Z+P/y)$ визначають собою величину напору стосовно площини порівняння 0-0, що збігає з нулем шкали відліку.

4. Середня швидкість течії рідини в трубах різного діаметра визначається за формулою (2.4).

Швидкісний напір $a \frac{V^2}{2g}$ розраховують, приймаючи $a = 1,1$ (для турбулентного режиму).

5. Гідродинамічний напір H , м, визначають підсумуванням п'єзометричного і швидкісного напорів

6.

$$H = Z + \frac{P}{g} + a \frac{V^2}{2g} \quad (2.6)$$

Результати вимірів і обчислень записують у табл. 2.1

$Dh = \dots$ м

Таблиця 2.1
 $Q = \dots$ м³/с

Напір п'єзометр а	Діаметр	Площа перетину	П'єзометричний напір $Z + \frac{P}{g}$	Швидкість	Швидкісний напір $a \frac{V^2}{2g}$	Гідродинамічний напір
	D	w		V		H
	М	м ²	М	м/с	М	М

2.4. Обробка експериментальних даних

Для побудови п'єзометричної і напірної ліній на міліметровому папері в масштабі не менш 1:10 вичерчують схему дослідної ділянки трубопроводу: похилу вісь 3-3 (мал. 2.2) і проводять вертикальні лінії по перетинах, до яких підключені п'єзометри, а також по тим перетинах, де розташовуються місцеві опори (різкі розширення і звуження) на відстанях, зазначених на схемі. На відповідних вертикальних лініях відкладаються в тім же масштабі від площини порівняння 0-0 нагору п'єзометричні напори, отримані з досліджень. Через кінці відрізків на прямолінійних ділянках трубопроводу проводять прямі лінії, що утворюють у сукупності зі "сходінками" у місцях опорів (стикування труб різного діаметра) п'єзометричну лінію $P-P$.

У такий же спосіб будується напірна лінія, тобто в тім же масштабі відкладають від кінців відрізків п'єзометричних напорів швидкісні напори (або від площини порівняння гідродинамічні напори H) і через кінці проводять напірну лінію $e-e$.

Горизонтальну лінію початкового напору e_0-e_0 проводять паралельно площині порівняння, що відстає від останньої на величину гідродинамічного напору в першому, початковому перетині.

2.5. Висновки

Необхідно доказати, як і чому змінюється енергія потоку рідини по довжині трубопроводів.

Питання для самоперевірки

1. Засвоїти геометричний (енергетичний) зміст рівняння Бернуллі.
2. Що таке повний гідродинамічний напір і в яких одиницях він вимірюється?
3. Написати рівняння Бернуллі для спочиваючої рідини.
4. Що таке середня швидкість потоку?
5. Як при цьому змінюються дослідженні вимірити витрата води, що тече по трубопроводу?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Герман В. Ф., Каплун І. П., Панченко В. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій. Суми: Сумський державний університет, 2012. 56 с.

2. Лазаренко О.Я., Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ВОДОМІРОМ ВЕНТУРІ

Мета: експериментальне визначення коефіцієнта витрати рідини і побудова тарувального графіка водоміра.

3.1. Загальні положення

Для замірів витрат рідини, що рухається в напірному трубопроводі, використовують різні прилади, у тому числі водомір Вентурі, що представляє собою трубу, яка складається з двох ділянок - поступово, що звужується і що розширюється (рис. 3.1).

Цей спосіб заснований на створенні в потоці перепаду напорів шляхом зменшення його перетину за допомогою пристрою, що звужується. Між одержаними таким шляхом перепадами напорів і витратою рідини визначена функціональна залежність. Для з'ясування виду цієї залежності скористаємося рівнянням Бернуллі для перетинів 1 і 2. ($Dh=H_1+H_2$)

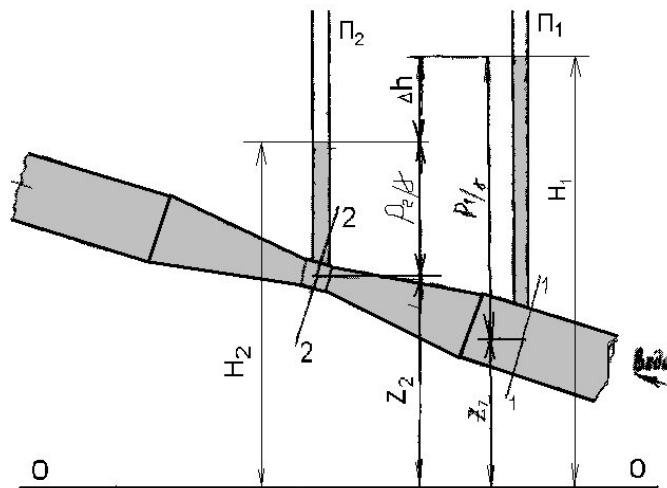


Рис. 3.1. Схема установки виміру витрати по перепаду статичних напорів рідини.

$$Z_1 + \frac{P_1}{g} + a_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{g} + a_2 \frac{V_2^2}{2g} + hw \quad (3.1)$$

Як перетин 1 обираємо перетин перед входом у пристрій у тім місці, де цей пристрій не впливає на характер потоку. Як перетин 2 вибираємо перетин у місці найбільшого стиску потоку.

У гідравліці рівняння нерозривності потоку, що визначає витрати нестисливої рідини через різний перетин каналів, записується в наступному виді:

$$Q = V_1 W_1 = V_2 W_2 = \text{const} \quad (3.2)$$

У рівняннях (3.1) і (3.2):

Z_1, Z_2 - висоти центрів ваги перетинів 1 і 2 над площиною порівняння 0-0;

P_1, P_2 - гідростатичні тиски в центрах ваг перетинів 1 і 2;

V_1 - середня швидкість потоку в трубопроводі;

V_2 - середня швидкість потоку в місці його найбільшого стиску;

ω_1 - площа перетину трубопроводів - перетин 1;

ω_2 - площа перетину потоку в місці найбільшого стиску (перетин);

a_1, a_2 - значення коефіцієнтів, що враховують вплив нерівномірності розподілу місцевої швидкості по живому перетині потоку на його кінетичну енергію;

γ - питома (об'ємна) вага рідини;

Q - витрата рідини, тобто обсяг рідини, що проходить через живий перетин потоку в одиницю часу;

hw - утрати напору на ділянці від перетину 1-1 до перетину 2-2.

Якщо установити в найбільш звуженій частині водоміра (перетин 2-2) п'езометр П2, то рідина в ньому буде стояти на значно більш низькому рівні п'езометра П1, підключеному в перетині 1-1 до початкової ділянки водоміра.

Ці два п'езометра будуть показувати різницю п'езометричних напорів у перетинах 1 і 2

$$Dh = \frac{a_1}{g} Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{a_2}{g} Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} - \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.3)$$

що характеризує перехід потенційної енергії потоку у кінетичну, якщо вважати рідину ідеальною ($hw=0$ і $a_1=a_2=1$)

$$\text{Тому що } V_1 = V_2 \frac{w_2}{w_1}, \text{ то } Dh = \frac{V_2^2 - \frac{a_2 w_2^2}{g w_1^2}}{2g} \quad (3.4)$$

$$\text{Звідси } V_2 = \sqrt{\frac{2gDh}{1 - \frac{a_2 w_2^2}{g w_1^2}}}$$

З рівняння нерозривності (3.2.) теоретична витрати рідини

$$Q_T = w_2 V_2 = w_2 \sqrt{\frac{2g}{1 - \frac{a_2 w_2^2}{g w_1^2}}} \sqrt{Dh} \quad (3.5)$$

якщо після перетворень $Q_T = \sqrt{\frac{2g}{\frac{1}{w_2^2} - \frac{1}{w_1^2}}} \times \sqrt{Dh}$ (3.6)

введемо позначення $K = \sqrt{\frac{2g}{\frac{1}{w_2^2} - \frac{1}{w_1^2}}}$ (3.7)

Кінцева теоретична витрата рідини дорівнює

$$Q_T = K \sqrt{Dh} \quad (3.8)$$

Величина K , обумовлена рівнянням (3.7), яке залежить тільки від співвідношення площин w_1 і w_2 для даного водоміра Вентурі. Отже, теоретична витрата рідини буде залежати тільки від різниці показань п'єзометрів.

Отримана залежність (3.8) справедлива лише для ідеальної рідини. Щоб поширити цю залежність на реальну рідину (наприклад, воду), необхідно ввести в неї деякий поправочний коефіцієнт, що врахував би втрати напору і нерівномірність розподілу швидкостей у живих перетинах потоку при русі реальної рідини через водомір. Вводячи такий коефіцієнт (коефіцієнт m) у формулу (3.8), остаточно одержимо

$$Q = mK \sqrt{Dh} \quad (3.9)$$

тут m - коефіцієнт витрати водоміра

Теоретично обчислити значення коефіцієнта витрати важко, тому що він залежить не тільки від геометричних характеристик, але і від числа Рейнольдса R_e і про необхідну для практики точність звичайно визначається дослідним шляхом. Водоміром Вентурі зручно користуватися в області квадратичних опорів, коли $m = \text{const}$, тобто не залежить від числа R_e і $R_e > R_{e \text{ перед}}$. В області потоку число R_e не впливає на величину втрат напору і $a \gg 1,0$. При $R_e < R_{e \text{ перед}}$ застосування цих витратомірів також можливо, але варто враховувати залежність m від R_e .

3.2. Конструкція експериментальної установки

В установку входить напірний трубопровід, що включає в себе вимірювальний пристрій - водомір Вентурі, причому вісь трубопроводу похила. Вода надходить у трубопровід із напірного бака, у який вона подається із міської мережі. Рівень води у напірному баку підтримується на постійному

рівні за рахунок зливу надлишків води. При цьому забезпечується сталий вид руху в трубопроводі. З трубопроводу вода зливається в мірний бак, що має рівномір для визначення ступеня його наповнення. На початку і кінці трубопроводу розташовані вентилі для регулювання витрат води і примусового зміщення рівнів води в п'єзометрах на деяку зручну для роботи висоту шляхом створення на вході в трубопровід додаткового опору.

До водоміра підключені два п'єзометра для виміру різниці напорів у двох перетинах. Обидва п'єзометра виведені на щит, що має шкали відліку. Нулі цих шкал розташовані на одному рівні, що збігається з горизонтальною площиною порівняння 0-0.

3.3. Порядок проведення лабораторної роботи

1. Виміри на стенді починають, коли цілком відкритий вентиль наприкінці трубопроводу, при цьому потрібно забезпечити надійний додатковий злив з напірного бака. Цим забезпечується встановлення сталого характеру руху води в трубопроводі.

При виконанні роботи необхідно виконати 6-7 дослідів. Перехід до кожного наступного дослідів виконується шляхом зменшення витрат води. Величини витрат повинні обумовлювати таку середню швидкість у трубопроводі, при якій забезпечується квадратична область опору.

2. Витрату води визначають об'ємним способом за рівнем заповнення обраного обсягу W , м³ мірного бака.

$$W = S \times l \quad (3.10)$$

де S – площа мірного баку.

l – позначка на шкалі мірного баку

$$\text{Витрати води при досліді, м}^3/\text{с} \quad Q_{on} = \frac{W}{t} \quad (3.11)$$

де t - час наповнення мірного баку, с.

3. Визначають величину Dh , м, як різницю показів двох п'єзометрів Π_1 і Π_2 .

4. Обчислюють постійну водоміра Вентурі K , м/с, по формулі (3.7) для значень

$d_1 = 0,05$ м - діаметр перетину 1;

$d_2 = 0,015$ м - діаметр перетину 2.

5. Розраховують теоретичну витрату води Q , м³/з, по формулі (3.8).

6. Обчислюють коефіцієнт витрати водоміра m :

$$m = \frac{Q_{on}}{Q_T} \quad (3.12)$$

Результати вимірів і обчислень заносять у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Номер дослід у	Різниця показань п'езометра	Час Досліджень	Рівень наповнення мірного бака	Обсяг води, що надійшла у мірний бак	Витрата води		Коеф. витрати водоміра
					при досліді	Теоретичні	
	$Dh, м$	$t, с$	$l, м$	$W, м^3$	$Q_{оп}, м^3/с$	$Q_T, м^3/с$	m

3.4. Обробка експериментальних даних

По обчисленим в окремих дослідях коефіцієнтам витрати визначають його середнє арифметичне значення.

Для зручності користування витратоміром на міліметровому папері будують тарувальні графіки $Q_T = f(Dh)$ і $Q_{оп} = f(Dh)$ (мал. 3.2).

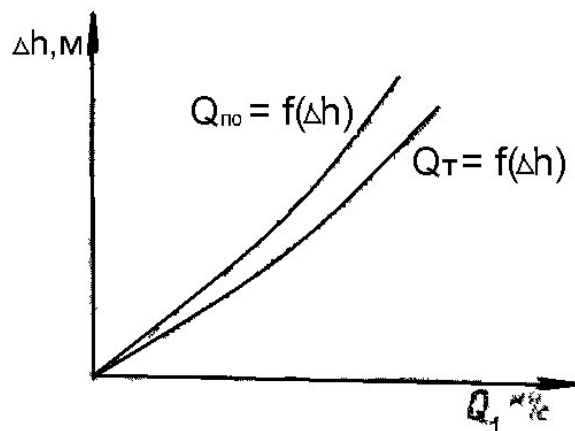


Рис.3.2.Тарувальний графік

3.5. Висновки

Об'ясніть, як і чому змінюються коефіцієнти витрати рідини водоміра.

Питання для самоперевірки

1. Назвати відомі вам дросельні витратоміри.
2. Що таке витрата рідини і в яких одиницях вимірюється?
3. Як залежить коефіцієнт витрати від числа Рейнольдса?
4. Як вимірюють витрати пневмометричними трубками?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Герман В. Ф., Каплун І. П., Панченко В. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій. Суми: Сумський державний університет, 2012. 56 с.
2. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИТРАТИ ПРИ ПЕРЕМІННОМУ РІВНІ РІДИНИ В ПОСУДИНІ

Мета: визначення шляхом дослідження коефіцієнта витрати рідини через отвори різного перетину та форми.

1.1. Загальні положення

При проектуванні, розрахунках і експлуатації апаратів часто виникає потреба у визначенні витрати рідини через отвори різної форми при різному рівні рідини в апараті. Для випадку витікання ідеальної рідини без зміни її рівня в посудині, тобто $H = const$ (рис. 4.1,а) сила напору H , м, витрачається тільки на створення швидкісного напору:

$$H = \frac{V^2}{2g} \quad (4.1)$$

відкіля швидкість витікання, м/с, $V = \sqrt{2gH}$

При витіканні ж реальних рідин частина напору h губиться на тертя і подолання опору, обумовленого раптовим звуженням потоку в отворі.

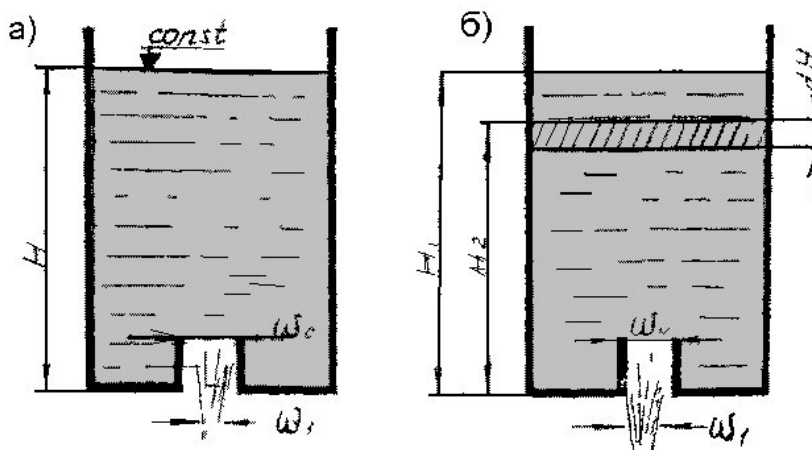


Рис. 1.1. Витікання рідини із посудини:

де: а - при постійному рівні;
б - при перемінному рівні

Тому швидкість реальної рідини:

$$V_1 = j \sqrt{2gH} \quad (4.2)$$

де: j - поправочний коефіцієнт, названий коефіцієнтом швидкості, яким враховуються втрати напору при витіканні через отвір.

Значення коефіцієнта j для води були визначені дослідним шляхом. Виявляється, що вони залежать тільки від форми отвору, через котрі відбуваються витікання. Ці величини представлені на рис. 1.2.

Унаслідок того, що площа поперечного перерізу струменя w_0 в отворі більше площі її самого вузького перетину w_1 (рис. 1.1), швидкість V_0 рідини в отворі повинна бути менше, ніж V_1 .

Тоді:

$$V_0 = xV_1 = xj \frac{V_1}{\sqrt{2gH}} \quad (4.3)$$

де $x = \frac{w_1}{w_0}$ - коефіцієнт стиснення струменя.

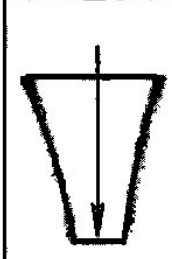
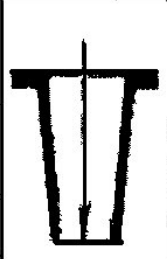
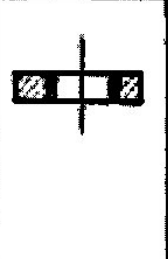
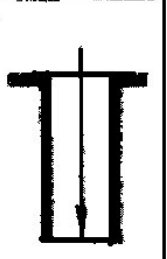
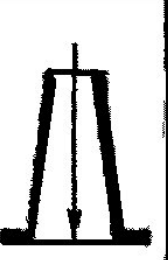
				
1,0	0,76	0,62	0,82	0,57

Рис. 1.2. Коефіцієнти звуження

Коефіцієнт α являє собою коефіцієнт витрати і виражається добутком коефіцієнтів швидкості і стиску струменя:

$$\alpha = we \quad (4.4)$$

Цей коефіцієнт визначають дослідним шляхом. Його значення залежать від величини критерію Re і можуть бути знайдені в довідниках у залежності від властивостей і швидкості руху рідини, а також від форми отвору. Для рідин, що по в'язкості мало відрізняються від води, можна приймати в першому наближенні $\alpha \approx 0,62$. При витіканні рідини через короткий циліндричний патрубок (насадок) відбувається додаткова втрата напору на вході і виході рідини, що приведе до зниження α . Разом з тим струмінь при вході в патрубок після деякого стиску знову розширюється і заповнює весь його перетин, тобто можна вважати $e = 1$. У підсумку коефіцієнт витрати рідини при витіканні через насадок виявляється більшим, ніж при витіканні

через отвір і для води може бути прийнятий $\alpha \approx 0,82$. Об'ємна витрата рідини дорівнює добуткові швидкості її V_1 в отворі на площу стиснутого перетину w струменя:

$$Q = \alpha w_1 \sqrt{2gH} \quad (4.5)$$

Тепер розглянемо витікання через отвір у тонкому днищі при перемінному рівні рідини в посудині з метою визначення часу спорожнювання судин. При такому витіканні рідини (рис. 1.1 ,б) її рівень H в посудині знижується в часі і відповідно до рівняння (4.3) зменшується також швидкість витікання V_0 . Отже, процес витікання носить нестационарний характер. Визначають час, за яке рівень рідини в посудині опуститься від первісної висоти H_1 до деякої висоти H_2 . За нескінченно малий проміжок часу dt у відповідності до рівняння (4.5) через отвір у днище витече обсяг рідини:

$$dQ = Q dt = \alpha w_0 \sqrt{2gH} \quad (4.6)$$

де w_0 - площа поперечного переріза отвору в днищі посудини. За той же проміжок часу dt рівень рідини в посудині понизиться на нескінченно малу величину dH при постійній площі поперечного перерізу посудини збиток рідини в ньому складає:

$$dQ = -w dH \quad (4.7)$$

Знак мінус у правій частині вказує на зменшення висоти рідини в посудині. Дорівнюючи відповідно до рівняння нерозривності потоку ці обсяги, одержимо:

$$\alpha w_0 \sqrt{2gH} dt = -w dH$$

$$\text{відкіля} \quad dt = - \frac{w dH}{\alpha w_0 \sqrt{2gH}} \quad (4.8)$$

Проінтегруємо цю залежність, приймаючи, що коефіцієнт витрати постійний, тобто не залежить від швидкості витікання, будемо мати:

$$\int_0^t dt = - \int_{H_1}^{H_2} \frac{w dH}{\alpha w_0 \sqrt{2gH}} \quad (4.9)$$

$$t = \frac{w}{\alpha w_0 \sqrt{2g}} \int_{H_2}^{H_1} H^{-\frac{1}{2}} dH = \frac{2w}{\alpha w_0 \sqrt{2g}} \left(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2} \right) \quad (4.10)$$

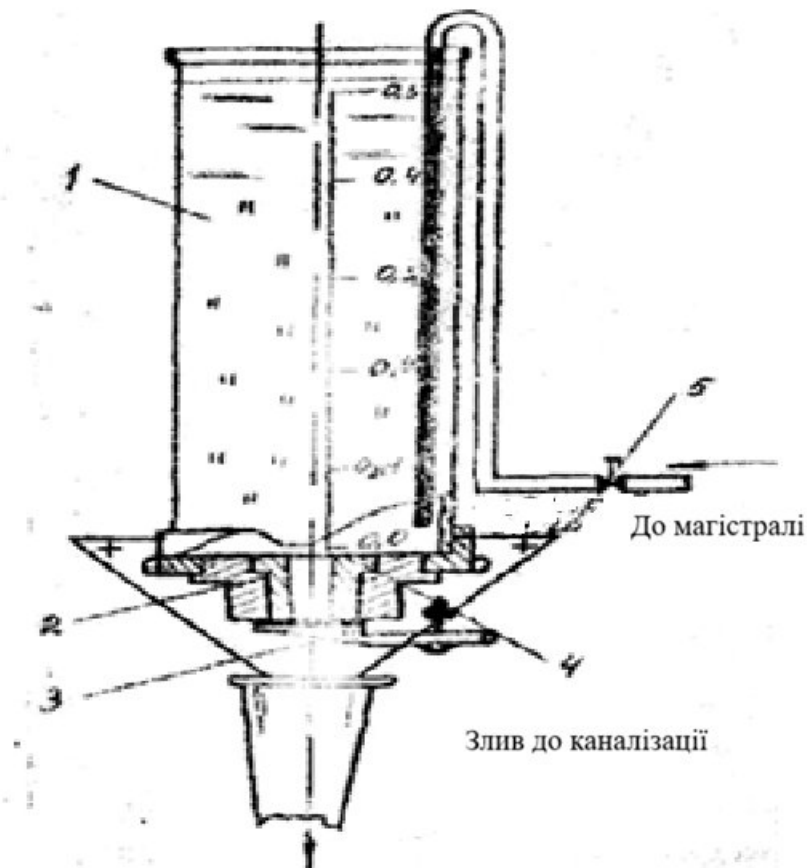


Рис. 1.3. Визначення коефіцієнта витрати при перемінному рівні рідини в посудині.

Установка для дослідного визначення коефіцієнта витрати являє собою прозору посудину (рис. 1.3) циліндричної форми 1, в якій нанесена шкала виміру рівня рідини. У дніщі посудини зливальний патрубок 2 із клапаном 3. Патрубок у площині дна посудини утримує насадку 4 з каліброваним отвором для витікання. Посудина заповнюється водою з водогінної мережі водопостачання через кран 5.

Таким чином, час спорожнювання посудини, що має постійний поперечний переріз, від висоти H_1 до висоти H_2 складає:

$$t = \frac{2w_0 \int_{\sqrt{H_2}}^{\sqrt{H_1}} \frac{\partial \dot{Q}}{\partial H} dH}{aw_0 \sqrt{2g}} \quad (4.11)$$

У випадку повного спорожнювання резервуара $H_2 = 0$ і рівняння (4.11) приймає вигляд:

$$T = \frac{2w_0 \sqrt{H_1}}{aw_0 \sqrt{2g}} \quad (4.12)$$

4.3. Порядок проведення лабораторної роботи

Ознайомившись з методичними вказівками і лабораторною установкою, приступають до проведення дослідження. У зливальний патрубок вставляють одну з насадок, потім посудину заповнюють водою до верхньої відмітки шкали. Коли вода заспокоїться, відкривають клапан зливу 3. Не включаючи кран 5, фіксують секундоміром час початку спорожнювання посудини від верхнього рівня до нуля через кожні 50 мм зниження рівня. Досвід повторяють 3 рази з кожною насадкою. Отримані результати (середні величини з трьох вимірів) записують у табл. 4.1.

4.4. Обробка експериментальних даних

По отриманим вимірам вираховують коефіцієнти витрати рідини для кожного інтервалу виміру рівня рідини для всіх дослідів насадок за формулою (4.11)

$$a = \frac{2w(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{tw_0\sqrt{2g}} \quad (4.13)$$

Дані розрахунків заносять у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

№ виміру	Вимір рівня рідини в циліндрі	Розрахункові величини за формулою (4.11)		Насадка №		Насадка №		Насадка №	
				час витікання	коєф. витрати	час витікання	коєф. витрати	час витікання	коєф. витрати
	$H_1 - H_2$	$\frac{2w}{w_0\sqrt{2g}}$	$H_1 - H_2$, с			, с		
			$H_1 - H_2$						

Будують графік залежності часу спорожнювання циліндра від зміни рівня рідини, відкладаючи на осі ординат висоту, а по осі абсцис - відповідний час спорожнювання в секундах для кожного насадки. Порівнюють отримані дані і роблять висновки, обґрунтувавши розходження, що спостерігаються.

4.5. Висновки

Об'ясніть, як і чому змінюється коефіцієнт витрат рідини при зміні рівня рідини в посудині, а також яка його залежність від форми насадки.

Питання для самоперевірки

1. Що називається коефіцієнтом швидкості?
2. Який фізичний зміст коефіцієнта швидкості?
3. Що називається коефіцієнтом стиску струменя?
4. Що називається коефіцієнтом витрати?
5. Якими факторами визначається коефіцієнт витрати?
6. Чим відрізняється витікання рідини через короткий циліндричний патрубок (насадок) від витікання через отвір у тонкому днищі посудини?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Герман В. Ф., Каплун І. П., Панченко В. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій. Суми: Сумський державний університет, 2012. 56 с.
2. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11 ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ ВИТИСКАННЯ РІДИНИ

Мета: вивчення змін, які відбуваються в потоці рідини при різних режимах витискання.

1.1. Загальні положення

У розрахунках процесів, пов'язаних з рухом рідин і газів вирішальне значення має характер руху розглянутого потоку.

Проведеними дослідженнями встановлено існування для реальних (в'язких) рідин і газів двох різко різних видів руху - ламінарного (шаруватого) і турбулентного (вихрового). Якщо уявити потік розділеним на ряд елементарних струмків, то в ламінарному потоці струмки рухаються рівномірно і паралельно один одному, а в турбулентному спостерігається поперечне перемішування струмків рідини за рахунок утворення вихрів.

Характер руху рідини (газу) залежить, як показали дослідження, від геометричних розмірів потоку (еквівалентного діаметра), швидкості руху, в'язкості і щільності рідини (газу).

Вплив перерахованих фізичних параметрів потоку на характер руху визначається величиною критерію (числа) Рейнольдса:

$$R_e = \frac{V d_{екв} \rho}{\mu} = \frac{V d_{екв}}{\nu} \quad (5.1)$$

де: V - середня швидкість потоків, м/с;
 $d_{екв}$ - еквівалентний діаметр трубопроводу, м;

$$d_{екв} = 4R_z = 2 \frac{F_{on} \times c}{u} \quad (5.3)$$

де: R_z - гідравлічний радіус, м;
 $F_{on} \times c$ - перетин потоків, м;

Встановлено, що для ламінарного режиму числове величин критерію Рейнольдса завжди менше, а для турбулентного режиму завжди більше деякого визначеного "критичного" значення. Наприклад, для прямих труб критичні значення числа Рейнольдса:

$$R_{e\,кр} = 2300 \quad (5.3)$$

Необхідно відзначити, що приведені критичні значення є певною мірою умовною величиною, тому що важко знайти різкий перехід від ламінарного режиму до турбулентного.

У дійсності звичайно спостерігається так звана "перехідна" зона зникнення ламінарного режиму до встановлення турбулентного стану потоку. Числові значення критерію Рейнольдса для перехідної зони знаходяться в межах 2320-10000.

При значеннях Re більш 10000 режим потоку стає стійким турбулентним.

1.2. Конструкція експериментальної установки

При проведенні лабораторної роботи використовується установка Рейнольдса (мал. 5.1), що регулюється краном 6. У середину скляної труби введена тонка трубка 4, що виходить з невеликого бачка з підфарбованою рідиною 1. Вода з бака по скляній трубці через регулювальний кран направляєється на злив або в мірну посудину 7 (при визначенні швидкості рідини в скляній трубці).

1.3. Порядок проведення лабораторної роботи

Відкриттям регулювального крана 6 на кінці скляної труби створюється визначений режим руху рідини.

Відкриваючи краник 2, впускають пофарбований струмок у потік. При ламінарному режимі пофарбований струмок не змішується з іншою масою, вона нагадує кольорову нитку, протягнену посередині труби.

Поступово збільшуючи ступінь відкриття регулювального крана 6, домагаються збільшення середньої швидкості руху рідини, а отже, і числа Re .

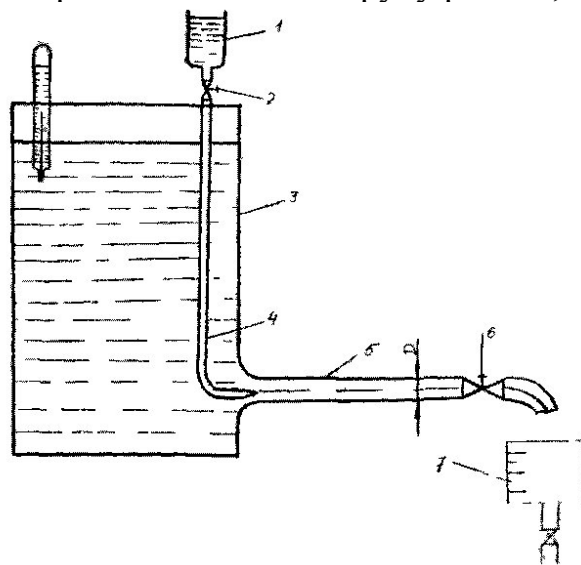


Рис. 5.1. Схема лабораторної установки

При критичному значенні $Re_{кр}$ ламінарне витискання рідини порушується, з'являється розмив пофарбованого струмка.

При подальшому відкритті крана число Re стає великим і режим витікання рідини стає турбулентним. Пофарбований струмок розпадається на окремі вихори, відбувається процес інтенсивного перемішування часток рідини.

У перехідному режимі (перехід від ламінарного руху до турбулентного і навпаки) виявляється значення числа $Re_{кр}$

Для цього одночасно переключають триходовий кран на мірну посудину включають секундомір і визначають час наповнення мірної посудини. Температуру води заміряють термометром, що знаходиться в напірному баку.

1.4. Обробка експериментальних даних.

По масі води M , зібраної за час t , визначають середню швидкість руху води в скляній трубці з формули, м/с,

$$M = VStr \quad (5.4)$$

де:

$$V = \frac{M}{0,785d_{ен}^2 tr} \quad (5.5)$$

де: M — маса води, зібраної за час досвіду, кг;
 S - площа поперечного зрізу труби, m^2

$$S = \rho d_{ен}^2 / 4 \quad (5.6)$$

ρ – щільність води, kg/m^3

t – тривалість досвіду, с;

$d_{ен}$ – внутрішній діаметр скляної трубки, м.

По формулі (5.1) визначають значення критерію Рейнольдса для різних швидкостей руху рідини.

Результати спостережень і розрахункові дані заносять у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

№ п/п	Час заповнення мірного бака	Маса рідини (води)	Середня швидкість води	Температура води	В'язкість води	Критерій	Стан підфарбованого струмка
	t, с	M, кг	V, м/с	t, °С	h, Па×с	Re	

1.5. Висновки

Зрівняйте: вплив швидкості потоку на характер його руху; відмінність ламінарного від турбулентного руху.

Питання для самоперевірки

1. Який рух називається ламінарним?
2. За яким законом міняється швидкість потоку в поперечному перерізі трубопроводу при ламінарному русі?
3. Як визначити середню швидкість потоку, що рухається ламінарно?
4. Який рух називається турбулентним?
5. Які величини характеризують режим руху потоку?
6. Що таке критерій Рейнольдса? Який його фізичний зміст?
7. Що таке еквівалентний діаметр і гідравлічний радіус?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.
2. Шинкарик М.М., Кравець О.І. Основи теплотехніки: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2024. 132 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 12 ВІВЧЕННЯ МІСЦЕВИХ ВТРАТ НАПОРУ

Мета: експериментальне визначення втрат напору та значень коефіцієнта місцевих опорів у випадку, коли потік води в напірному трубопроводі на своєму шляху зустрічає різке розширення і різке звуження труби, і зіставлення цих втрат із втратами напору, обчисленими згідно з теоретичними залежностями.

1.1. Загальні відомості

Втрати механічної енергії, віднесені до одиниці маси рідини і зосереджені на порівняно короткій ділянці руху рідини, у межах якого потік різко деформується, називаються місцевими втратами напору.

При русі рідини по трубопроводу місцеві втрати напору виникають на ділянках місцевих опорів при стикуванні труб різних діаметрів, на поворотах, у трубопроводній арматурі тощо.

Картина протікання рідини в місцях різкого розширення або звуження потоку схематично представлена на рис. 1.1.

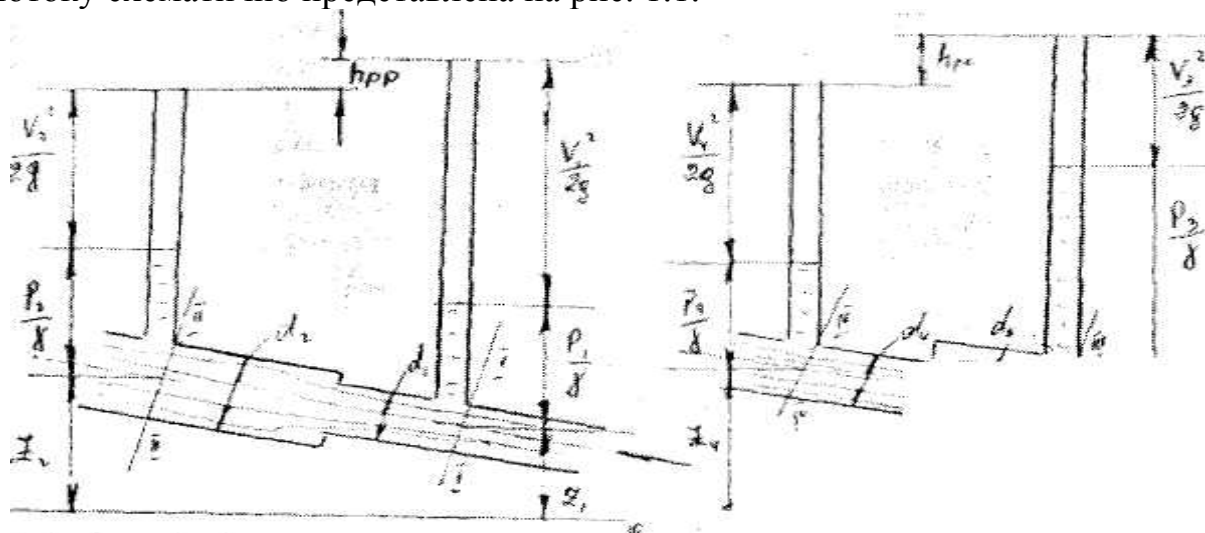


Рис. 1.1. Схеми протікання рідини.

Як видно з малюнка, транзитна (основна) струміль не збігається точно з обрисом трубопроводу в місцях його різкої зміни площин перетинів, і, рухаючись по інерції, приводить до утворення кільцевих вихрових зон.

При турбулентному режимі відбувається інтенсивний обмін, безладно рухаються частинки між транзитним потоком і вихровою зоною, захоплюючи частки вихрової зони, основний потік сповільнюється і, поступово розширюючись, знову заповнює весь перетин трубопроводу. Підвищення тиску, що відбувається при цьому, викликає зворотний рух часток вихрової зони у стінок, тому що ці частки не мають кінетичну енергію, яка необхідна для переміщення разом з основним потоком в область більш високого тиску.

У результаті виникає вихровий рух, який підтримується безперервним обміном частками між цією зоною й основним потоком.

Витрата механічної енергії на створення вихрової зони про наступний необоротний перехід кінетичної енергії в тепло під дією сил внутрішнього тертя представляє тут переважну частину місцевої втрати.

Місцеві втрати визначаються по формулі Вейсбаха

$$h_m = z_m \frac{V^2}{2g} \quad (7.1)$$

де: z_m – безрозмірний коефіцієнт місцевого опору, що відображає частку питомої кінетичної енергії, що губиться в даному місцевому опорі;

V - середня швидкість недеформованого потоку в трубі малого діаметра.

Величина коефіцієнта z_m у межах області квадратичного опору не залежить від середньої швидкості потоку і визначається тільки геометричною формою потоку на ділянці місцевого опору .

Значення z_m для двох типових видів місцевих опорів визначаються згідно залежностей:

а) для різкого розширення потоку - по теоретичній формулі

$$z_{pp} = \frac{\alpha}{\epsilon} - \frac{d_1^2}{d_2^2} \frac{\alpha^2}{\epsilon} \quad (7.2)$$

б) для різкого звуження потоку - по емпіричній формулі

$$z_{pc} = 0.5 \frac{\alpha}{\epsilon} - \frac{d_4^2}{d_3^2} \frac{\alpha^2}{\epsilon} \quad (7.3)$$

Коефіцієнт місцевого опору може бути визначений дослідним шляхом по обмірюванім в експерименті втраті напору і швидкості з формули

$$z_m = \frac{hm}{V^2} \quad (7.4)$$

1.2. Конструкція експериментальної установки

Установка включає трубопровід, складений із труб різних діаметрів причому вісь трубопроводів похила. Вода надходить у трубопровід з напірного бака, у який вона подається з міської мережі. Рівень води в напірному баку підтримується на постійному рівні. На кінці трубопроводу розташований вентиль для регулювання витрат води.

Вздовж трубопроводу підключені п'єзометри для виміру потенційного напору. Усі п'єзометри виведені на щит, який має шкалу відліку.

1.3. Порядок проведення роботи й обробка експериментальних даних

1. Виміри на стенді починають при відкритому вентилі на трубопроводі. Витримують інтервал часу, протягом якого на досліджуваній ділянці трубопроводу рух води приймає сталий характер.

2. За допомогою водоміра Вентурі обчислюють величину витрати води Q , м³/с, для чого визначають Dh як різницю рівнів у п'єзометрах водоміра. Потім, знаючи і користуючись тарувальною кривою, знаходять Q , (Витрата може бути визначена також об'ємним способом за часом заповнення мірного бака).

3. Показання п'єзометрів $Z + \frac{P}{\rho g}$ являють собою величину потенційного напору стосовно площини порівняння, що співпадає з нулем шкали відліку.

4. Середня швидкість руху, м/с, у трубах різного діаметра визначається по формулі

$$V = \frac{Q}{W} = \frac{4Q}{\rho w^2} \quad (7.5)$$

де w – площа поперечного зріза труби.

Швидкісний напір $\frac{aV^2}{2g}$ обчислюють, приймаючи $a = 1,1$ (для турбулентного режиму).

5. Гідродинамічний напір H , м, визначається підсумовуванням потенційного і швидкісного напорів

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{aV^2}{2g} \quad (7.6)$$

$$h_{p,p} = H_1 - H_2 \quad (7.7)$$

$$h_{p,c} = H_3 - H_4 \quad (7.8)$$

6. Досліджені значення коефіцієнтів місцевого опору визначають з формул (7.4):

$$\chi_{pp} = \frac{H_1 - H_2}{V_1^2 / 2g} \quad (7.8)$$

$$\chi_{pc} = \frac{H_3 - H_4}{V_4^2 / 2g} \quad (7.9)$$

7. Для порівняння з даними досліду обчислюють також розрахункові величини коефіцієнтів місцевого опору по формулам (7.2) і (7.3) і відповідні їм втрати по формулі (7.1).

Результати вимірів і розрахунків заносять у табл. 1.1. У звіті повинна бути приведена схема дослідної установки.

Таблиця 1.1

Перетини	Параметри	D, м	w, М ²	$Z + \frac{P}{g}$ М	V, м/с	$\frac{aV^2}{2g}$ м	H, м	Дослід		Розрахунок	
								hh, м	x _h м	x _h М	hh, М
Різьке розширення		1									
		2									
Різьке звуження		1									
		2									

1.4. Висновки

Необхідно показати, як і чому змінюються втрати енергії потоку рідини на подолання місцевих опорів при розширенні і звуженні потоку рідини.

Питання для самоперевірки

1. На подолання яких втрат витрачається енергія при русі рідини по трубопроводам?
2. Як експериментально визначити коефіцієнт місцевого опору
3. Перелічити відомі вам види місцевих опорів.

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

Шинкарик М.М., Кравець О.І. Основи теплотехніки: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2024. 132 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 12 ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ НАПОРУ ПО ДОВЖИНІ ТРУБИ

Мета: експериментальне визначення коефіцієнта гідравлічного тертя при русі води в напірному трубопроводі і зіставлення результатів експерименту з даними розрахунку.

1.1. Загальні положення

Втрати напору по довжині є частиною повної питомої енергії, що переходить у тепло (і що розсіюється), завдяки роботі сил тертя, розподілених вздовж усього потоку. Основними факторами, що визначають утрати напору по довжині труби є: довжина трубопроводу L , його внутрішній діаметр d ; жорсткість стінок труби D , характер рідини і швидкість її руху V .

Величину втрат напору по довжині hd , м, обчислюють по формулі Дарси

$$hd = l \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (8.1)$$

де l - коефіцієнт гідравлічного тертя, числові значення якого визначаються в залежності від режиму руху рідини і області опору по наступних залежностях:

для ламінарного режиму ($Re < 2300$)

$$l = \frac{64}{Re} \quad (8.2)$$

а) в зоні гладкого опору (формула Блазіуса)

$$l = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (8.3)$$

б) у доквадратичній зоні опору (формула Альтшуля А.Д.)

$$l = 0,1146 \frac{D_e}{d} + \frac{100}{Re} \frac{D_e^{0,25}}{d} \quad (8.4)$$

де D_e - еквівалентна рівномірно-зерниста жорсткість лабораторного трубопроводу (указує викладач);

в) у квадратичній зоні опору (при $Re > R_{e_{пред}}$)

$$l = 0,11 \frac{\rho D_c^{0,25}}{\rho d \varnothing} \quad (8.5)$$

Для даної труби область і зону гідравлічного опору можна установити за значенням показника ступеня m в формулі втрат напору, що виражає закон опору

$$h_{\text{л}} = kV^m \quad (8.6)$$

де K - коефіцієнт, постійний для даного трубопроводу (тобто для заданих значень l , d , D и роду рідини)

- 1) в області ламінарного режиму руху $m = 1,0$;
- 2) в області турбулентного режиму плинину:
 - а) $m = 1,75$ - зона гладкого опору;
 - б) $1,75 < m < 2,0$ - зона доквадратичного опору, $m = 2,0$ - зона квадратичного опору.

1.2. Конструкція експериментальної установки

Визначення втрат напору на тертя по довжині виявляється на загальному стенді лабораторії гідравліки. Довжина дослідної ділянки 1,5 м з внутрішнім діаметром $1,5 \cdot 10^{-2}$ м (рис. 1.1).

Подача води в трубопровід здійснюється з напірного бака, рівень води в посудині під час дослідів підтримується на постійному рівні. Регулювання витрати води в трубопроводі здійснюється за допомогою вентиля, встановленого на кінці трубопроводу. Витрата води в трубопроводі, $\text{м}^3/\text{с}$ вимірюється за допомогою мірного бака або тарировочного графіка водоміра Вентурі:

$$Q = f(Dk)$$

Досліджувана ділянка трубопроводу обмежена перетинами 1 і 2, до яких підключені п'єзометри, виведені на п'єзометричний щит зі шкалою.

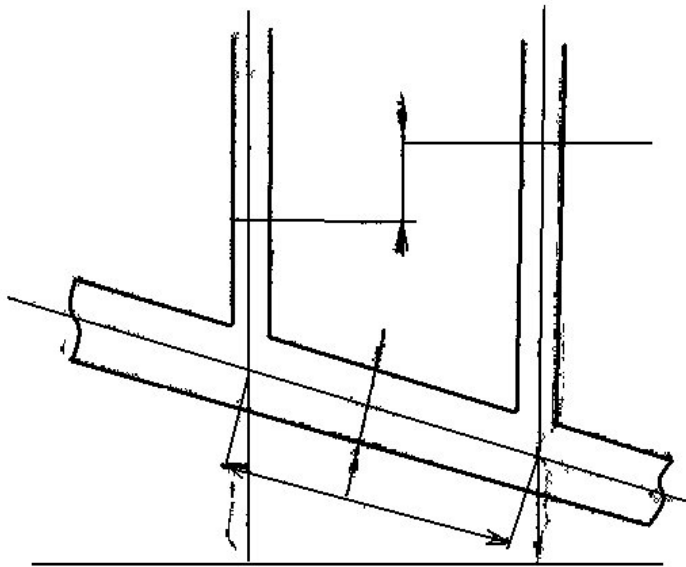


Рис. 1.1. Схема дослідної ділянки трубопровода.

1.3. Порядок проведення роботи й обробка експериментальних даних

1. Вимір на стенді починають, цілком відкривши вентиль на трубопроводі. Витримують інтервал 2 хв, протягом якого на досліджуваній ділянці трубопроводу рух води приймає сталий характер.

2. За допомогою водоміра Вентурі виміряють величину витрати води Q , $\text{м}^3/\text{с}$ для чого виміряють Dh , як різницю рівнів у п'езометрах водоміра. Потім, знаючи Dh і користуючись тарувальною кривою, знаходять Q . (Витрата може бути визначений також об'ємним способом за часом заповнення мірного бака).

3. По витраті розраховують середню швидкість потоку, $\text{м}/\text{с}$,

$$V = \frac{Q}{W} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (8.7)$$

4. Розраховують число Рейнольдса,

$$R_e = \frac{Vd}{\nu} \quad (8.8)$$

5. Здійснюють відлік по шкалах п'езометричного щита в граничних перетинах досліджуваної ділянки, що повинні відповідати середньому положенню рівнів води, що трохи коливаються.

Знаходять утрату напору по довжині ділянки без місцевих опорів використовуючи рівняння Бернуллі:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + a_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + a_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_w \quad (8.9)$$

тому що в розглянутому випадку:

$$V_1 = V_2 = V, a_1 = a_2, \text{ а } h_w = h \text{¶}$$

$$h_d = \frac{\alpha}{g} Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha}{g} Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \quad (8.10)$$

7. Коефіцієнт гідравлічного тертя за даними експерименту розраховують за формулою Дарсі

$$l_{on} = \frac{2gdhd}{V^2} \quad (8.11)$$

7. За допомогою вентиля встановлюють нове менше значення витрати і виконують наступний дослід. Усього проводять 6-7 дослідів для різноманітних витрат води.

Результати вимірів і розрахунків заносять у табл. 1.1.

Таблица 1.1.

№ досліду	Dh,м	Q,м³/с	V, м/с	lgV	h,м	lgh	Re	l досл	l розр

8. Область гідравлічного опору встановлюють по величині показника ступеня m у формулі (8.6).

Логарифмуючи цю формулу, маємо

$$Lghd = lgk + mlgV \quad (8.12)$$

Це рівняння при постійних K і m є рівняння прямої лінії, у якому m - кутовий коефіцієнт.

За результатами дослідів будують графік – рис.8.2.

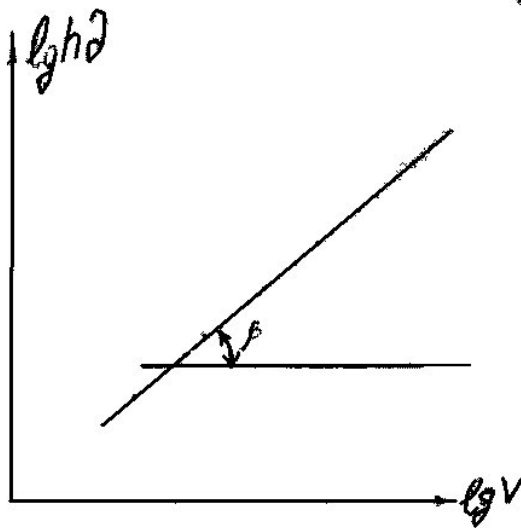


Рис.1.2.

Через отримані крапки проводять осереднюючу їхню пряму лінію. Тангенс кута нахилу цієї прямої до осі абсцис дорівнює показникові ступеня m $m = l g \beta$

За отриманим значенням m встановлюють область і зону гідравлічного опору.

6. Для відповідної області опору по формулах (8.2) - (8.5) розраховують коефіцієнт $l_{розр}$, і порівнюють його з отриманими в дослідах.

8.4. Висновки

Показати, як і чому змінюються втрати енергії потоку рідини по довжині трубопроводів у залежності від режиму руху потоку рідини.

Питання для самоперевірки

1. Установити залежність між коефіцієнтом l і числом Re при ламінарному режимі руху рідини.
2. Як впливає шорсткість на втрати енергії потоку?
3. Як експериментально визначити коефіцієнт тертя?
4. З якими властивостями реальної рідини зв'язані витрати енергії потоку на подолання тертя?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.
2. Шинкарик М.М., Кравець О.І. Основи теплотехніки: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2024. 132 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 13 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Мета: практичне ознайомлення з насосною установкою та проведення досліду; визначення параметрів роботи насоса для різних режимів і побудова характеристик $H=f(Q)$; $N=f(Q)$; $h=f(Q)$

1.1. Загальні положення

Насосами називають гідравлічні машини, що переміщують рідину шляхом надання їй енергії, головним чином, у вигляді надлишкового тиску. Насос, переміщуючи рідину, робить роботу за рахунок енергії, отриманої від двигуна, і приводить у рух робоче колесо.

Найбільше поширення одержали відцентрові насоси через простоту конструкції і зручності експлуатації. Відцентрові насоси складаються з одного або декількох робочих коліс, що обертаються в корпусі насоса. Усмоктування і нагнітання рідин відбуваються під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні робочого колеса з лопатками.

Тиск, що створюється відцентровою силою у насосі, а отже, і висота нагнітання залежать від швидкості обертання робочого колеса і будуть тим більші, чим більше число оборотів робить робоче колесо. У відцентрових насосах зі зміною продуктивності змінюються й інші параметри: напір, потужність і коефіцієнт корисної дії (ККД).

Величини, що характеризують роботу відцентрових насосів при постійному числі оборотів, звичайно відображають у вигляді графічних залежностей напору H , потужності N , ККД, η від продуктивності (подачі) Q . Такі залежності $Q-H$; $Q-N$; $Q-\eta$, називаються характеристиками насосів, вони устанавлюються дослідним шляхом. Цими характеристиками насосів користуються при вивченні роботи відцентрових насосів і їх вибору.

При зміні числа оборотів n відцентрового насоса його продуктивність (подача) Q , напір H і споживана потужність N також змінюються в наступних співвідношеннях:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \frac{H_1}{H_2} = \frac{\omega_1 \cdot \frac{\sigma}{\rho}}{\omega_2 \cdot \frac{\sigma}{\rho}}; \frac{N_1}{N_2} = \frac{\omega_1 \cdot \frac{\sigma^3}{\rho}}{\omega_2 \cdot \frac{\sigma^3}{\rho}}$$

Приклад графічного зображення характеристик відцентрового насоса дивись рис. 1.1.

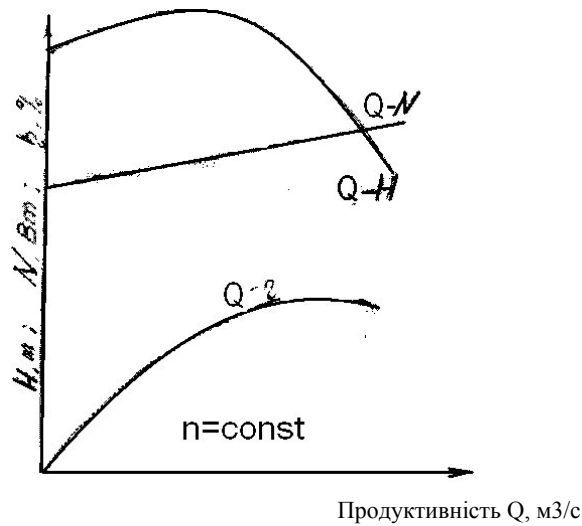


Рис. 1.1. Характеристики відцентрового насоса.

Продуктивність (подача) відцентрового насоса залежить від відносної швидкості руху рідини по каналах робочого колеса, а також від геометричних розмірів робочого колеса, м³/с,

$$Q = b_1 (pD_1 - dZ) V_1^1 = b_2 (pD_2 - dZ) V_2^1 \quad (9.1)$$

де D_1 і D_2 - внутрішній і зовнішній діаметри робочого колеса, м;
 b_1 і b_2 - ширина колеса на внутрішньому і зовнішньому колі, м;
 d - товщина лопаток робочого колеса, м;
 Z - число лопаток у робочому колесі;

V_1 і V_2 - відносна швидкість руху рідини при вході і виході з каналу між лопатками, м/с.

Продуктивність (подача) насоса може бути також визначена по витраті, що знаходиться по перепаду статичного тиску на вимірювальній діафрагмі. Перепад тиску вимірюється за допомогою диференціального манометра. Об'ємна продуктивність Q , м³/с, розраховується згідно з формулою

$$Q = h F_1 \sqrt{2g \frac{h_{pt} (r_{pt} - r_0)}{1000}} = h \frac{pd^2}{1000} \sqrt{\frac{h_{pt} (r_{pt} - r_0)}{1000}} \quad (9.2)$$

де h - коефіцієнт витрат ($h=0,4-0,65$);
 d - діаметр отвору діафрагми, м;
 h_{pt} - висота стовпа робочої рідини в трубці дифманометра (у нашому випадку - мм рт.ст.);
 r_0 - щільність середовища над робочою рідиною, кг/м³ (у нашому випадку - води);
 r_{pt} - щільність робочої рідини (у нашому випадку - ртуті), кг/м³;
 r - щільність рідини, що перекачується, (у нашому випадку - води), кг/м³, тобто $r = r_0$

Повний напір H , м, що розвивається відцентровим насосом, може бути підрахований по формулі

$$H = \frac{P_H - P_{BC}}{\rho g} + h + \frac{V_H^2 - V_{BC}^2}{2g} \quad (9.3)$$

де P_H, P_{BC} - тиск по манометру відповідно в нагнітальному і всмоктувальних трубопроводах, Па;
 h - вертикальна відстань між місцями приєднання манометра і вакуумметра, м;
 V_n, V_{bc} - швидкості води відповідно в нагнітальному й всмоктувальному трубопроводах, м/с.

Враховуючи, що діаметри усмоктувального і нагнітального патрубків рівні, прийняти ($V_n = V_{bc}$) рівняння (9.3) прийме вигляд:

$$H = \frac{P_H - P_{BC}}{\rho g} + h \quad (9.4)$$

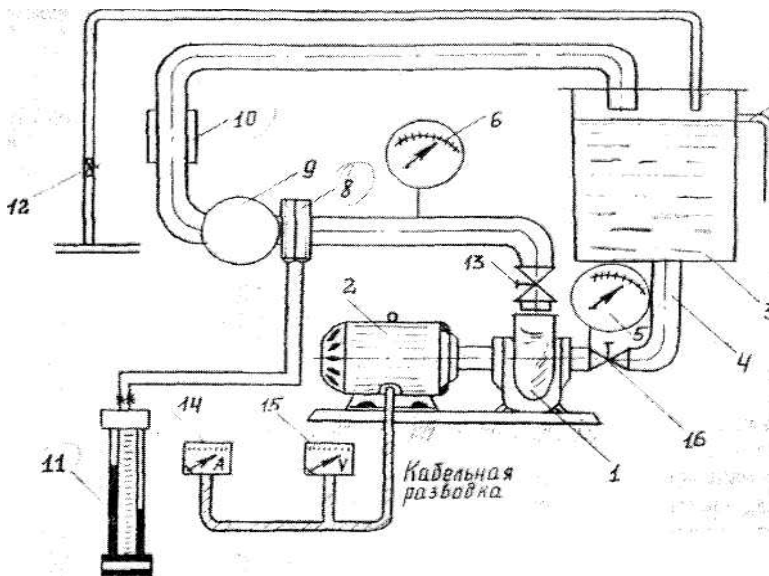


Рис. 1.2. Схема установки

1.2. Конструкція експериментальної установки

Відцентровий насос I (рис. 1.2), що працює по замкнутому циклу, установлений на одному валові з електродвигуном 2. Вода всмоктується насосом з бака 3, установленого вище осі відцентрового насоса (тобто установка працює "під тиском", через усмоктувальний трубопровід 4, на якому встановлений манометр 5, що показує тиск в усмоктувальній порожнині насоса. Манометр б, показує тиск води в залежності від величини регулювання відкриття і закриття кран 13 на нагнітанні, установлений безпосередньо на нагнітальній лінії. Виміррювальна діафрагма 8 використовується для виміру

витрати рідини, що нагнітається насосом У схемі передбачений вимір витрати за допомогою лічильника 9 і ротаметра 10.

Перепад тиску на діафрагмі вимірюється диференціальним манометром 11.

Наповнення бака водою здійснюють відкриттям вентиля 12, що з'єднує трубопровід з водопровідною магістраллю. Після наповнення бака водою вентиль 12 закривають.

Регулювання продуктивності насоса регулюється кранами 13 і 16

Електричні прилади (амперметр 14, вольтметр 15) служать для визначення потужності, що витрачається, при роботі установки.

1.3. Порядок проведення лабораторної роботи

Перед тим як приступити до виконання роботи, варто ретельно ознайомитися з конструкцією насоса, його роботою і схемою лабораторної установки. Експериментальна частина зводиться до створення сталих режимів роботи насосної установки й одночасної реєстрації показань контрольно-вимірювальних приладів, введених у схему.

Тому що число оборотів двигуна залишається постійним, умови роботи змінюються в залежності від опору в нагнітальному трубопроводі за допомогою крана 13.

Параметри тиску в нагнітальному трубопроводі задаються викладачем, що веде лабораторні заняття.

Для кожного режиму роботи насоса здійснюються виміри: тиску в нагнітальному трубопроводі (заданого викладачем); тиску в усмоктувальному трубопроводі; перепаду тиску на вимірювальній діафрагмі; напруги і сили струму по приладах ланцюга електродвигуна. Дані вимірів і основних розрахункових величин заносяться в табл. 1.1

Таблиця 1.1

№ п/п	Дослідні Дані				Розрахункові дані			
	Тиск у нагнітальному трубопроводі $P_n, \text{Па}$	Тиск на всмоктувальному трубопроводі $P_{вс}, \text{Па}$	Перепад Тиску на вимірній. діафрагмі $DP(h), \text{мм.рт.ст}$	Покази приладів в ланцюзі двигуна	Потужність $N_n, \text{Вт}$	Повний напір, $H, \text{м}$	Продуктивність, $Q, \text{м}^3/\text{с}$	КПД, ст. $h, \%$
				Вольтметр $V, \text{В}$				

Отримані розрахункові величини Q, H, N, h представити у вигляді графіка залежностей $H=f(Q); N=f(Q); h=f(Q)$

1.4. Обробка експериментальних даних

Продуктивність насоса визначають по формулі (9.2). Повний напір, створюваний насосом, у метрах стовпа рідини, знаходять по формулі (9.4).

Потужність на валу відцентрового насоса, Вт обчислюють по формулі

$$N = \frac{QHr g}{m \times 102} \quad (9.5)$$

де Q - продуктивність насоса, м³/с;
H - повний напір, створюваний насосом, м;
r - щільність рідини, кг/м³;
g - прискорення вільного падіння, м/с;
m - коефіцієнт корисної дії насоса.

Тут
$$m = \frac{QHr g}{Nn \times 102} \quad (9.6)$$

Споживану потужність відцентрового насоса, Вт, визначають за показниками електричних приладів, включених у ланцюг електродвигуна насоса

$$N_n = VI \quad (9.7)$$

де V - напруга, В
I - сила струму, А

1.5. Висновки

Зіставити: зміну потужності привода, напору і ККД у залежності від продуктивності відхилення розрахункової потужності від потужності, обумовленої за показниками приладів; зміна продуктивності від зміни тиску нагнітання.

Питання для самоперевірки

1. Як влаштований відцентровий насос?
2. З яких складових складається абсолютна швидкість рідини, у робочому колесі насоса?
3. Які залежності називаються характеристиками відцентрового насоса?
4. Чому відцентровий насос пускають у хід при закритій засувці на нагнітальній лінії?

Список допоміжної літератури до виконання роботи.

1. Лазаренко О.Я., Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

2. Чесноков О.В., Калайдо О.В., Колесніков В.О. Гідравліка і гідравлічні машини : навч. посіб. для студ. напрямів підготовки «Технологічна освіта» і «Професійна освіта» всіх форм навчання . Держ. закл. «Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка». Луганськ : Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. 170 с.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

3. Виноградов-Салтиков В. О., Єщенко О. І., Бірюков Д. В. Теплотехнічні вимірювання. Особливості вимірювання температури пірометрами. Лабораторний практикум: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 35 с.
4. Врагов А. П., Михайловський Я. Е., Юхименко М. П., Острога Р.О. Гідромеханічні процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв: навч. посіб. 2-ге вид., переробл. Суми : Сумський державний університет, 2024. 276 с.
5. Герман В. Ф., Каплун І. П., Панченко В. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій. Суми: Сумський державний університет, 2012. 56 с.
6. Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Єщенко О.І., Максименко О.Е. Основи теплотехніки: вибрані розділи. Збірник індивідуальних завдань: одиниці вимірювання фізичних величин, параметри стану: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 70 с.
7. Дубровська, В. В. Шкляр В. І. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 251 с.
8. Золотовська О. В. Пугач А. М., Теслюк Г. В. Курс лекцій з теплотехніки: навч. посіб. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 274 с.
9. Кондусь В. Ю., Котенко О. І. Лопатеві насоси: навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2021. 293 с.
10. Коновалова С. О. Теплофізичні процеси: методичні вказівки до організації самостійної роботи для студентів технічних спеціальностей заочної форми навчання/ Краматорськ : ДДМА, 2015. 59 с.
11. Кошмак О. Р. Магистерская диссертация на тему «Отопление коттеджного дома с использованием керамических электронагревателей»: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 96 с.,

12. Лазаренко О.Я, Ніколайчук Ю.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Енергетичні машини" для студентів напряму підготовки 6.010103. Технологічна освіта. Слов'янськ: ДДПУ, 2014. 108 с.

13. Омельченко О.В., Цвіркун Л.О. Гідравлічні машини: навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2020. 100 с.

14. Освітня (освітньо-професійна) програма «Професійна освіта (транспорт)», за спеціальністю 015 «Професійна освіта (за спеціалізаціями)» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. [Електронний ресурс]: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти / Державний вищий навчальний заклад «Донбаський державний педагогічний університет» - URL: <https://ddpu.edu.ua/index.php/osvitno-profesiini-prohramy> (дата звернення 28.08.2025р).

15. Суходуб, І. Дешко В. І., Яценко О. І. Прикладні задачі енергозбереження. Моделювання системи гарячого водопостачання з сонячними колекторами. Комп'ютерний практикум: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 56 с.

16. Холодоагент. [Електронний ресурс] - URL:<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%96%D0%BD%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0> (дата звернення 25.06.2025р).

17. Чесноков О.В., Калайдо О.В., Колесніков В.О. Гідравліка і гідравлічні машини : навч. посіб. для студ. напрямів підготовки «Технологічна освіта» і «Професійна освіта» всіх форм навчання . Держ. закл. «Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка». Луганськ : Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. 170 с.

18. Шинкарик М.М., Кравець О.І. Основи теплотехніки: навч. посіб. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2024. 132 с.