

**Кафедра прикладної механіки
факультету техногенно-екологічної безпеки
Національного університету цивільного захисту
України**

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Харків 2016

Друкується за рішенням кафедри
прикладної механіки НУЦЗУ
Протокол від 30.05.2016 р. № 38

Укладачі: І.В.Міщенко, О.М.Кондратенко, Н.В.Дейнеко

Рецензенти: А.В.Бондаренко - доцент кафедри гідравліки та гідравлічних машин Національного технічного університету «ХПІ», кандидат технічних наук, доцент;

В.К.Мунтян - завідувач кафедри фізико-математичних дисциплін Національного університету цивільного захисту України, кандидат технічних наук, доцент.

Технічна механіка рідини і газу. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт / Уклад. І.В.Міщенко, О.М.Кондратенко, Н.В.Дейнеко.- Х.: НУЦЗУ, 2016.-36 с.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт складаються з п'яти лабораторних робіт з дисципліни «Технічна механіка рідини і газу», що дозволяють провести необхідні вимірювання та отримати наочне уявлення про основні характеристики руху рідини в трубопроводах, пожежних рукавах та насадках стволів. Дослідження важливих гідравлічних характеристик має актуальне значення для майбутньої фахової діяльності спеціалістів за напрямками «Пожежна безпека», «Цивільний захист» і «Охорона праці».

Відповідальний за випуск І.В.Міщенко

© Національний університет цивільного захисту України, 2016

ВСТУП

Технічна механіка рідини і газу є дисципліною, в якій лабораторні експерименти, а також спостереження за різними гідравлічними явищами відіграють суттєву роль. Без широко поставленого лабораторного експерименту, гідравліка не змогла б досягнути рівня свого сучасного розвитку. Це пояснюється складністю багатьох гідравлічних явищ, які доводиться розглядати та вивчати під час вирішення ряду важливих інженерних проблем, і необхідністю відповідного коригування результатів, які отримують із застосуванням різних спрощуючих припущень.

Окремі питання гідродинаміки і в теперішній час ще не можуть бути вирішені теоретичним шляхом, тому приходится уживати визначення простих емпіричних і напівемпіричних співвідношень, необхідних для використання в інженерній практиці. Всі ці співвідношення та формули можуть бути отримані в результаті постановки відповідних лабораторних досліджень.

Згідно з вищевказаним, проведення лабораторних робіт в курсі «Технічна механіка рідини і газу» ставить перед курсантами, студентами та слухачами наступні завдання:

- оволодіти методикою постановки і проведення лабораторного гідравлічного експерименту;
- навчитися аналізувати отримані експериментальні дані;
- перевіряти відповідність величин, які отримані дослідним шляхом, величинам, які отримані через аналітичні (теоретичні) залежності;
- за необхідності оцінювати абсолютні та відносні похибки вимірювань визначених величин, вказувати джерела похибок під час проведення вимірювальних досліджень та шляхи їхньої мінімізації;
- складати характеристику спостережного під час експерименту гідравлічного явища;
- зробити висновки, що базуються на експериментальних даних;
- отримати навички оформлення звітної документації згідно з проведеними дослідженнями.

До занять в лабораторії з технічної механіки рідини і газу допускаються курсанти, студенти і слухачі, які ознайомлені з інструкцією з охорони праці в цій лабораторії, про що зроблено відповідний запис в журналі з охорони праці.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ ВОДИ

Метою лабораторної роботи є демонстрація режимів руху води, а також обчислення відповідних їм значень критерію Рейнольдса.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Науковими дослідженнями встановлено, що рух рідин і газів поділяється на два різних види (режими).

Режим руху, при якому зберігаються, не перемішуючись, у загальному потоці струмки рідин, називається **ламіна́рним** – шаруватим, плавним.

Безладний режим руху рідини називається **турбулентним** – у потоці відбувається перемішування часток рідини, виникають вихори.

Ламінарний режим спостерігається при русі дуже в'язких рідин, таких, як нафта, мастило, мазут, мед тощо. Цей же режим характерний і для руху рідин у капілярних трубках – кров у кровоносних судинах, вода в порах ґрунту й у «жилках» рослин. Рух рідин у природі - в океанах, морях, ріках, і в техніці - каналах, трубопроводах, насосах, пожежних рукавах і стволах, майже завжди турбулентний.

Існування ламінарного і турбулентного рухів рідин експериментально довів англійський фізик О.Рейнольдс у 1883 р. Трьома роками раніше думку про два режими течії рідин висловив великий російський вчений Д.І.Менделєєв.

Експериментальні роботи О.Рейнольдса показали, що кожний з режимів залежить від діаметра трубопроводу, середньої швидкості потоку, в'язкості рідини при даній температурі. Взаємозв'язок між вказаними вище величинами виражається відношенням сил інерції до сил в'язкості і називається **критерієм Рейнольдса**, який для випадку напірного руху в круглоциліндричній трубці має вигляд

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \quad (1.1)$$

де V - середня швидкість руху рідини по трубці, d - внутрішній діаметр труби, ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини.

Перехід від ламінарного режиму до турбулентного (і навпаки) проходить при так званій **критичній швидкості** $V_{кр}$ руху рідини.

Під час руху рідини з критичною швидкістю співвідношення $\frac{V_{\text{кр}} d}{\nu}$ ха-

рактеризується **критичним числом Рейнольдса** $Re_{\text{кр}}$. Для напірних труб круглого перерізу границею переходу одного режиму руху до іншого є критичне число $Re_{\text{кр}} = 2320$. При $Re < Re_{\text{кр}}$ рух відбувається в ламінарному режимі, при $Re > Re_{\text{кр}}$ – в турбулентному. Таким чином, коли сили в'язкості переважають сили інерції – рух ламінарний, в іншому випадку – турбулентний.

Слід зазначити, що перехід з ламінарного режиму в турбулентний (або навпаки) відбувається для різних критичних значень числа Рейнольдса, які мають назву верхніх і нижніх, для напірного руху відповідно дорівнюють $Re_{\text{кр}} = 4000$ і $Re_{\text{кр}} = 2320$. Ці поняття використовують тільки під час проведення експериментальних робіт. Для практичних розрахунків прийнято порівняння визначеного числа Рейнольдса з нижньою критичною величиною.

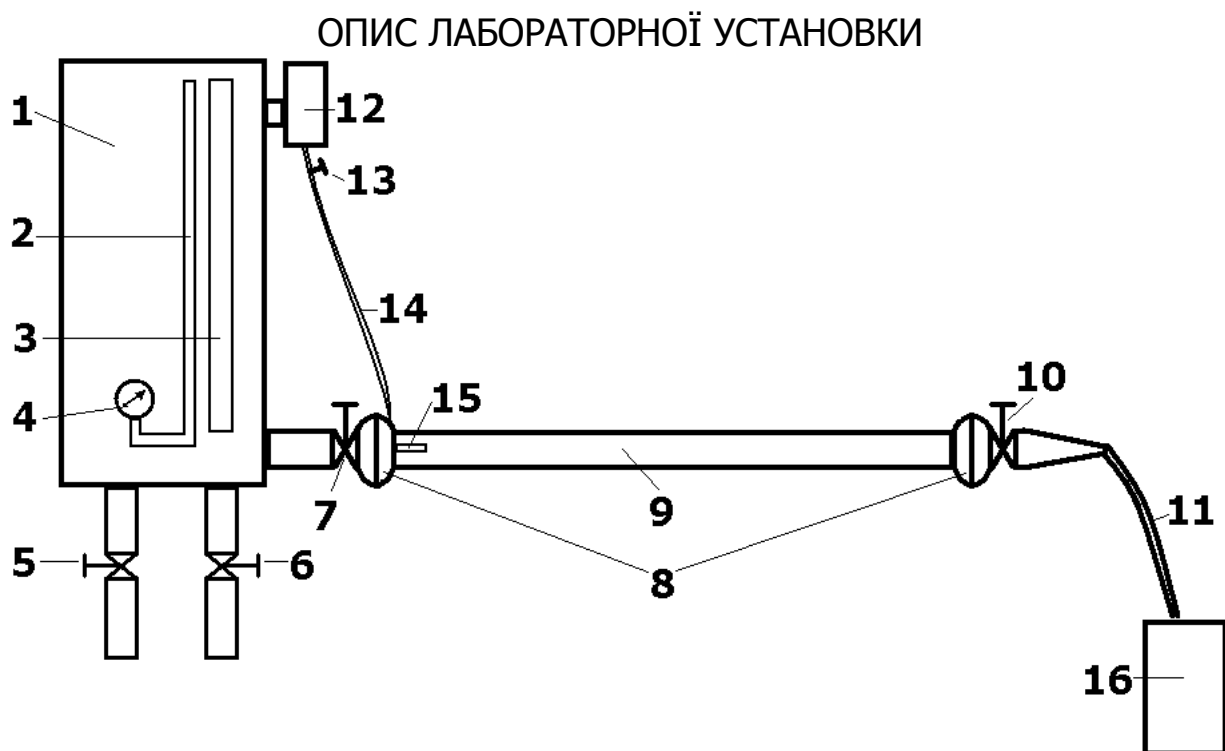


Рисунок 1.1. Схема лабораторної установки Рейнольдса

Наочно обидва режиму руху води можна спостерігати на установці Рейнольдса, схема якої наведена на Рисунку 1.1. На ньому позначені:

1 – напірний резервуар, 2 – скляна трубка з водою, що показує рівень води в напірному резервуарі, 3 – лінійка для вимірювання напору в

резервуарі, 4 – манометр тиску, 5 – вентиль з трубою для подачі води в напірний резервуар, 6 – вентиль з трубою для зливу води з напірного резервуару, 7 – вентиль, 8 – з'єднувальні головки, 9 – прозорий трубопровід, 10 – регулювальний кран, 11 – гумовий шланг, 12 – бачок з розчином барвника, 13 – краник, 14 – шланг для подачі барвника, 15 – наконечник, 16 – мірна ємність.

При повністю відкритому вентилі 7 і ледве відкритому (різниця між зачиненим і максимально відкритим краном складає чверть повороту останнього) крані 10 вода повільно витікає з напірного резервуару 1 через прозорий трубопровід 9 і гумовий шланг 11. В трубопроводі 9 установлюється деяка середня швидкість руху води V , яка відповідає її об'ємній витраті Q . Якщо відкрити краник 13, з бачка 12 через трубку 13 і наконечник 15 в потік води, що рухається, по трубопроводу 9, почне надходити розчин барвника у вигляді тонкого прямолінійного струмка, який простирається всередині трубопроводу 9. При відносно малих швидкостях руху окремі струмки рідини рухаються паралельно один до одного, барвник не змішується з основною рідиною й переміщується вздовж потоку у вигляді тонкої нерозмитої нитки.

При збільшенні ступеня відкритості крану 10 швидкість руху рідини в трубопроводі 9 зростає, при цьому паралельний рух струмків змінюється на інший. Частки рідини мають складові швидкості, перпендикулярні до вісі потоку, хоча загальний рух вздовж трубопроводу зберігається. Переміщення часток мають хаотичний характер у вигляді окремих пульсацій. Шари рідини знаходяться у стані неперервного перемішування, внаслідок чого струмок розмивається і барвник рівномірно забарвлює всю рідину.

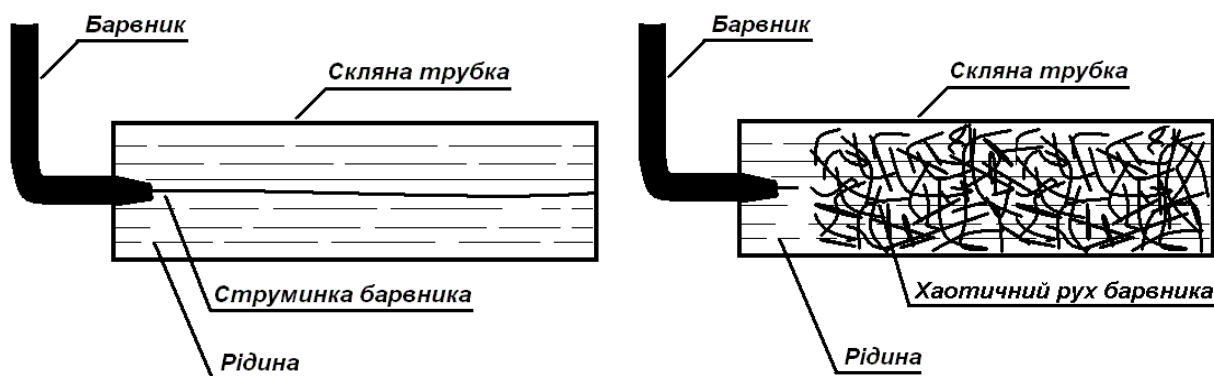


Рисунок 1.2. Режими руху води

В першому випадку спостерігається ламінарний режим руху води, в другому – турбулентний (Рисунок 1.2).

Лабораторна установка Рейнольдса дозволяє провести аналітичні розрахунки, що дозволяють отримати кількісні характеристики

для підтвердження режимів руху води, які можна спостерігати під час виконання роботи.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Відкрити кран 5, подаючи воду в напірний резервуар і заповнюючи його. Протягом кожного з дослідів необхідно підтримувати рівень води в ньому постійним, що робить рух води в трубі усталеним.
2. Повністю відкрити вентиль 7.
3. Злегка відкрити кран 10 і відрегулювати витікання незначної кількості води через скляний трубопровід 9 і гумовий шланг 11 у мірну ємність 16.
4. Відкрити краник 13. При цьому розчин барвника з бачка 12 по трубі 14 через наконечник 15 тонким струмком буде вливатися в потік води і переміщатись вздовж вісі трубопроводу 9, не перемішуючись з навколишньою масою води. Це свідчить про ламінарний режим руху води в трубопроводі.
5. Закрити краник 13, щоб не витрачати розчин барвника.
6. Заповнити мірну ємність 16, об'єм якої W , водою, що витікає в бачок. Визначити час t заповнення мірної ємності, для чого одночасно швидким рухом перевести гумовий шланг 11 в мірну ємність 16 й увімкнути секундомір. Після наповнення ємності зупинити секундомір. Об'єм води в ємності та час його заповнення записати в журнал лабораторних робіт.
7. Знову відкрити краник 14, щоб упевнитися в ламінарності руху води в трубопроводі.
8. За допомогою регульовального крана 10 збільшити витрату води і швидкість V потоку води в трубопроводі до повного зникнення прямолінійності та суцільності забарвленого струмка.
9. Провести вимірювання часу заповнення водою мірної ємності для другого випадку аналогічно п.5.
10. Привести лабораторну установку в неробочий стан: закрити повністю кран 10 і відкрити вентиль для зливу води.

ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

В результаті проведення двох спостережень за режимами руху води та вимірювань у журналі лабораторних робіт повинні з'явитись такі дані: внутрішній діаметр скляного трубопроводу d , температура води T , об'єм води, що витікає з трубопроводу, W , та час її витікан-

ня t . Дані, що відповідають двом дослідом, записуються двічі в окремий стовпчик.

При обробці результатів вимірювань треба визначити такі величини:

1. Значення коефіцієнта кінематичної в'язкості води визначають за Таблицю 1.1, прийнявши температуру води в напірному резервуарі 1 під час проведення дослідів незмінною.

2. Площину перерізу трубопроводу $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$.

3. Середню витрату води $Q = \frac{W}{t}$.

4. Середні швидкості потоку води в трубопроводі $V = \frac{Q}{\omega}$.

5. Числа Рейнольдса Re за формулою (1.1).

Значення Re , які отримані, порівняти з $Re_{кр}$ і зробити висновок про режими руху води.

Таблиця 1.1

Значення кінематичних коефіцієнтів в'язкості води при різних температурах

град, °C	см ² /с	град, °C	см ² /с	град, °C	см ² /с
0	0,0178	9	0,0135	15	0,0115
4	0,0157	10	0,0131	16	0,0112
5	0,0152	11	0,0127	17	0,0109
6	0,0147	12	0,0124	18	0,0106
7	0,0143	13	0,0121	19	0,0103
8	0,0139	14	0,0117	20	0,0101

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРІВ І ВТРАТ НАПОРУ ВОДИ В ТРУБОПРОВОДІ

Метою лабораторної роботи є вимірювання загальної, лінійної та місцевої втрат напору води в трубопроводі, обчислення опорів трубопроводу та водоміра.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Під час руху потік реальної рідини зустрічає два види гідравлічних опорів – **лінійні** та **місцеві**.

Лінійні опори виникають вздовж потоку внаслідок дії поверхневих і внутрішніх сил тертя (тертя рідини об стінку труби та шарів рідини один об одного), що зумовлює втрати напору по довжині h_{Λ} . Ці втрати розподіляються рівномірно по довжині трубопроводу на його прямолінійних ділянках з постійним перерізом.

Питома енергія, яка витрачена потоком рідини на подолання лінійних опорів, називається **лінійною втратою напору**.

Місцеві опори зумовлені змінами напрямку потоку (поворот, відгалуження), формами живого перерізу потоку (звуження, розширення), а також наявністю місцевих перешкод (засувка, кран, вентиль, клапан і т.п.). Місцеві опори спричиняють у потоці вихори, збурення, безладний (турбулентний) рух рідини. Витрати питомої енергії потоку на подолання місцевих опорів називається **місцевою втратою напору** h_M .

Загальну (сумарну) величину втрат напору на ділянці трубопроводу між двома перерізами визначають як суму втрат напору вздовж ділянки, що розглядається, та усіх місцевих втрат напору:

$$h_{\Sigma} = h_{\Lambda} + h_M. \quad (2.1)$$

На величини лінійних і місцевих втрат напору істотно впливає швидкість руху потоку V , діаметр d або площа живого перерізу потоку ω , кінематична в'язкість ν і питома маса рідини ρ . Крім того, величина лінійної втрати напору залежить від матеріалу та ступеня чистоти обробки внутрішньої поверхні трубопроводу (шорсткість), а місцевої – від виду (форми) місцевого опору.

Для більшості типових труб, що застосовуються в техніці, при використанні формули Дарсі-Вейсбаха краще заздалегідь підрахувати значення коефіцієнта λ і добуток коефіцієнта λ на постійні для даного діаметру величини. При цьому, замість середньої швидкості в розрахункову формулу зручніше ввести витрату Q . Тоді формула Дарсі-Вейсбаха з урахуванням рівняння нерозривності потоку $V = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^2}$ набуде вигляду

$$h_{\Lambda} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} = AlQ^2. \quad (2.2)$$

Величина $A = \frac{8\lambda}{\pi^2 d^5 g}$ характеризує втрати напору на одиницю довжини труби при одиничних витратах Q , тому вона називається питомим опором. Добуток Al називається лінійним опором і позначається S_{Λ} . Тоді формула (2.2) зводиться до

$$h_{\Lambda} = S_{\Lambda} Q^2. \quad (2.3)$$

Загалом, опір трубопроводу залежить від матеріалу, діаметру та довжини трубопроводу.

Аналогічно для розрахунку місцевих втрат напору можна записати рівняння Вейсбаха

$$h_M = \zeta \frac{V^2}{2g} = S_M Q^2, \quad (2.4)$$

де $S_M = \frac{8\zeta}{\pi^2 d^4 g}$ - місцевий опір.

Таким чином, рух рідин по трубах, каналам, пожежним рукавам відбувається під дією сил, що викликають рух (гідродинамічний напір), і сил, що перешкоджають руху (сили тертя). Отже, перевага сил, що викликають рух, над перешкоджаючими йому силами є обов'язковою умовою руху рідин.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Лабораторна робота виконується на двох окремих установках, наведених на Рисунках 2.1 та 2.2, кожна з яких призначена для виконання відповідної частини роботи.

Перша установка, на якій проводиться вимірювання лінійних втрат напору, складається зі сталевого трубопроводу 1 із внутрішнім діаметром D і довжиною L . При відкритому вентилі 2 об'ємна витрата води в трубопроводі визначається за допомогою водоміра (витратоміра), аналогічного наведеному на Рисунку 2.2. Для вимірювання різниці напорів, тобто втрат напору на ділянках трубопроводу, використовують диференціальний рідинний манометр 3, який підключено до вказаних місць (точки А і Б, відстань між якими L) трубопроводу за допомогою імпульсних трубок 4.

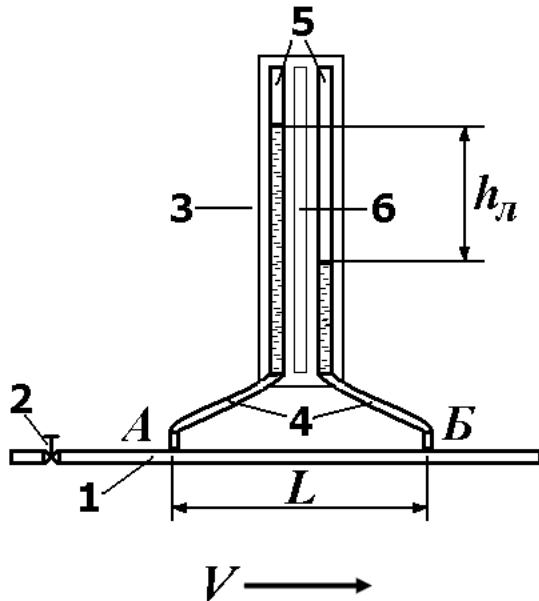


Рисунок 2.1.

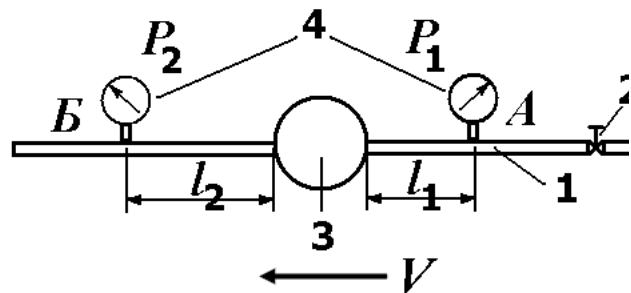


Рисунок 2.2.

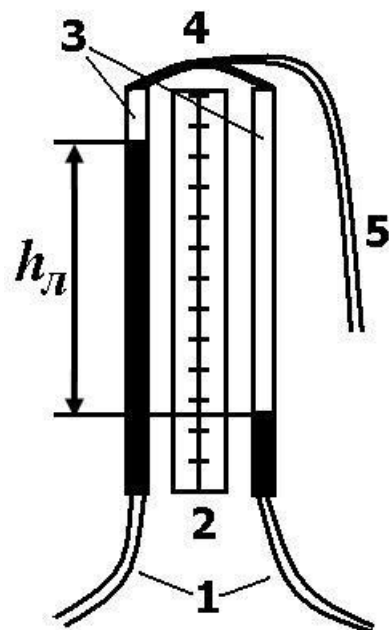


Рисунок 2.3.

Схему устрою диференціального манометру наведено на Рисунку 2.3, де: 1 – імпульсні трубки, 2 – шкала, 3 – скляні трубки, 4 – спускний вентиль, 5 – трубка для зливу води.

Підготовка диференціального манометра до роботи здійснюється наступним чином:

1. Проводять вилучення повітря з імпульсних трубок 1, для чого за допомогою регулювання вентиля подачі води повністю заповнюють вказані трубки. Вода має проходити через спускний вентиль 4 через трубку 5 назовні.

2. Перекривають вентиль 4.

Лабораторна установка приведена до робочого стану. Робота на установці виконується наступним чином:

1. Регулюючи подачу води через трубопровід за допомогою вентиля 2 (Рисунок 2.1), спостерігають заповнення скляних трубок водою. При малому напорі вода не доходить до нульової відмітки шкали, а при великому рівень води в обох трубках зашкалює.
2. Виставляють оптимальний напір води, який дозволяє спостерігати різні рівні води в скляних трубках 3, при цьому при русі води зліва направо напір в лівій трубці буде більшим, ніж у правій.
3. Фіксують і записують показання диференціального манометра за допомогою шкали 2. Різниця h_A між рівнями на шкалі 2 є величиною лінійних втрат напору при русі води в трубопроводі на ділянці між точками А і Б.
4. Вимірюють час t , за який по трубопроводу проходить об'єм води W , користуючись водоміром і секундоміром.
5. Визначають довжину ділянки трубопроводу L .
6. Після закінчення вимірювань, припиняють подачу води в трубопровід, рівень води в скляних трубках стає рівним (відсутність руху води означає відсутність втрат напору) і за рахунок вакууму вода залишається в диференціальному манометрі. Відкриття вентиля 4 робить тиск в трубках атмосферним, трубки спорожнюються.

Друга установка (Рисунок 2.2), на якій проводяться вимірювання місцевої втрати напору на водомірі та лінійних втрат напору, складається зі сталевого трубопроводу 1, який за поперечними розмірами, матеріалом, терміном та умовами експлуатації є ідентичним до трубопроводу першої установки, водоміра 3 та манометрів тиску 4. При відкритому вентилі 2 витрата води в трубопроводі визначається за допомогою водоміра (витратоміра). Для вимірювання різниці напорів, тобто втрат напору на ділянках трубопроводу h_{A1} , h_{A2} та водомірі h_M , використовують манометри 4, встановлені в точках А і Б відповідно на відстанях l_1 , l_2 праворуч та ліворуч від водоміра. Сумарні лінійні втрати напору між точками А і Б, звичайно, дорівнюють $h_{A1} + h_{A2}$. Показання манометрів P_1 і P_2 записують в журнал лабораторних робіт. З метрологічної точки зору необхідно встановити таку швидкість руху рідини по трубопроводу, при якій показання тиску P_1 манометру не перевищували 70% максимальної величини шкали (наприклад, для манометру зі шкалою 1 ат відповідне значення 0,7 ат).

Під час виконання робіт на лабораторних установках треба пам'ятати, що втрати напору, які вимірювали за допомогою диференціального манометра або манометрів тиску, відповідають певним витратам води. Витрата води визначається за допомогою водоміра та

секундоміра. Об'єм води, що тече по трубопроводу, у певній кількості літрів, фіксується секундоміром за показаннями стрілки на водомірі, повний оберт якої відповідає 1 літру. Об'єм води W та час t записати в журнал лабораторних робіт.

По закінченні робіт закрити вентилі подачі води.

ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Перед проведенням розрахунків треба переконатися в можливості використання формул (2.3) та (2.4). Враховуючи, що в літературі значення A наведені для квадратичної області, при визначенні втрат напору в інших областях роботи трубопроводів в розрахункові формули необхідно ввести корективу. Дослідженнями Ф.А.Шевелева встановлено, що квадратична область в водопровідних трубах настає при швидкості руху рідини $V \geq 1,2$ м/с. Тому при $V < 1,2$ м/с формули можна уточнити наступним чином

$$h_A = \delta S_A Q^2, \quad (2.5)$$

$$h_M = \delta S_M Q^2, \quad (2.6)$$

де δ - поправочний коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості. Його значення наведені в Таблиці 2.1. За умови визначення прохідного діаметру трубопроводу (або попередньо маючи інформацію про це) і далі з рівняння нерозривності - швидкості протікання рідини по трубопроводу отримують обґрунтування доцільності врахування вказаного поправочного коефіцієнту. Очевидно, при $V > 1,2$ м/с поправочний коефіцієнт $\delta = 1$.

Таблиця 2.1

$V, \text{ м/с}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
δ	1,41	1,28	1,2	1,15	1,11	1,09	1,06	1,04	1,03

В результаті проведення двох досліджень втрат напору води в журналі лабораторних робіт повинні бути такі дані: об'єм води, що протікає по трубопроводу, W , та час її витікання t , лінійні розміри L , l_1 та l_2 згідно з Рисунками 2.1, 2.2, лінійна втрата напору h_A (за результатами 1-ого дослідження), загальна втрата напору h_Σ (за результатами 2-ого дослідження).

Під час обробки результатів вимірювань треба визначити такі величини:

1. Середню об'ємну витрату води $Q = \frac{W}{t}$.
2. Середні швидкості потоку води в трубопроводі $V = \frac{Q}{\omega}$, після чого необхідно зробити висновок щодо використання формул з урахуванням поправочного коефіцієнта (2.5), (2.6).
3. З 1-го дослідження за формулою (2.2) визначають питомий опір трубопроводу $A = \frac{h_{\Lambda}}{L(\delta Q_1)^2}$, $\text{с}^2/\text{м}^6$. Обчислене значення порівнюють зі стандартним, яке для сталевих трубопроводів з умовним проходом 15 мм дорівнює $8,81 \text{ с}^2/\text{л}^2$.
4. Знаючи питомий опір трубопроводу A , довжини l_1 та l_2 , визначають лінійні втрати напору h_{Λ} для ділянки трубопроводу з водоміром. Місцеву втрату напору на водомірі $h_{\text{М}}$ визначають як різницю між h_{Σ} та h_{Λ} , і, використовуючи формулу (2.4), розраховують $S_{\text{М}} = \frac{h_{\Sigma}}{(\delta Q_2)^2} - A(l_1 + l_2)$, $\text{с}^2/\text{м}^5$.

Слід зазначити, що формально отримане значення питомого опору трубопроводу A неможливо використовувати під час розрахунків у другій частині роботи для іншого трубопроводу. Але, зважаючи на ідентичність геометричних розмірів поперечного перерізу трубопроводів, однакові умови монтажу, експлуатації та зберігання, вважаємо останні чинники достатньо обґрунтованими для тих дій, що описані в попередньому пункті стосовно 2-го дослідження.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРІВ І ВТРАТ НАПОРУ ВОДИ В ПОЖЕЖНИХ РУКАВАХ

Метою лабораторної роботи є вимірювання втрат напору в прогумованих або непрогумованих пожежних рукавах, обчислення опорів рукавів, що досліджуються.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Як і в жорстких трубах, рух води у м'яких пожежних рукавах гальмують **лінійні** та **місцеві опори**. На їх подолання витрачається енергія, напір. Внаслідок цього, в рукавних лініях мають місце **лінійні** та **місцеві втрати напору**.

Лінійні опори рукавних ліній залежать від довжини ліній, їхнього матеріалу, внутрішньої шорсткості та діаметру. Однак, на відміну від труб, в пожежних рукавах під час подачі води відбувається зміна (збільшення) довжини (до 5%) та площі поперечного перерізу (на 3-4%). Водночас шорсткість внутрішньої поверхні рукава трохи збільшується. Крім того, пряма рукавна лінія при подовженні рукавів набуває хвилястої форми, що приводить до збільшення втрат напору ще на 5-6%.

Таким чином, з одного боку, має місце зменшення втрат напору внаслідок збільшення діаметра, а, з другого боку, зростання втрат напору внаслідок подовження рукавної лінії та збільшення шорсткості. Проведені дослідження показали, що ці зміни у втратах напору урівноважуються між собою, тому практично їх можна не враховувати.

У з'єднальних рукавних головках прохідний переріз звужується, приблизно, на 25%, у зв'язку з чим місцеві втрати напору збільшуються до 3%. Місцеві втрати напору також виникають в рукавних переходах, розгалуженнях тощо. Втрати напору в рукавних з'єднаннях по відношенню до втрат в усій лінії невеликі, тому їх окремо не враховують, а відносять до загальних втрат напору в рукавах.

Залежно від матеріалів рукавів та їхніх діаметрів опори рукавів довжиною 20 м наведені в Таблиці 3.1, з якої видно, що опір прогумованих рукавів приблизно вдвічі менше опорів непрогумованих рукавів відповідного діаметру. Розрахунок втрат напору в рукавних пожежних лініях проводиться за формулами

$$h_{p\Lambda} = nSQ^2, \quad (3.1)$$

$$h_{p\Lambda} = ALQ^2, \quad (3.2)$$

де: $h_{p\Lambda}$ – втрата напору в рукавній лінії, м. вод. ст.; L – довжина рукавної лінії, м; n – кількість рукавів, шт.; A – питомий опір рукава, $\text{с}^2/\text{л}^2$; S – опір одного рукава довжиною 20 м, $\text{м}\cdot\text{с}^2/\text{л}^2$; Q – об'ємна витрата води, л/с.

Таблиця 3.1.

Діаметр d , мм	Рукава прогумовані		Рукава непрогумовані	
	S , $\text{м}\cdot\text{с}^2/\text{л}^2$	A , $\text{с}^2/\text{л}^2$	S , $\text{м}\cdot\text{с}^2/\text{л}^2$	A , $\text{с}^2/\text{л}^2$
51	0,13	0,0065	0,24	0,012
66	0,034	0,0017	0,077	0,00385
77	0,015	0,00075	0,030	0,0015
89	0,007	0,00035	-	-
110	0,0022	0,00011	-	-
150	0,0004	0,00002	-	-

З наведених вище розрахункових формул легко встановити, що втрати напору в рукавній лінії тим більші, чим вона довша, чим більший її опір і більше об'ємна витрата води. Оскільки під час руху води в рукавній лінії, як уже зазначалося, частина напору витрачається на тертя об стінки рукавів, в кінці рукавної лінії напір води буде завжди менший, ніж на початку. Цю важливу обставину слід враховувати при розрахунку подачі води до місця пожежі.

ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Для проведення лабораторних досліджень використовується установка, схема якої наведена на Рисунку 3.1. На цій установці досліджується пожежний рукав – прогумований або непрогумований – довжиною 10 м.

Лабораторна установка складається з пожежного рукава 1, який приєднується до трубопроводів за допомогою рукавних голівок 2. Пуск води в рукав і регулювання руху води здійснюється відповідно

за допомогою вентилів 3 і 4. Перед рукавом по ходу руху води встановлено витратомір 9. Різниця напорів на початку та в кінці рукава визначається за допомогою диференціального манометра 6, опис якого надано в попередній лабораторній роботі. Різниця рівнів в правій і лівій трубках 7 визначає втрати напору в певному пожежному рукаві заданої довжини, а числове значення $h_{рл}$ визначається за шкалою 8.

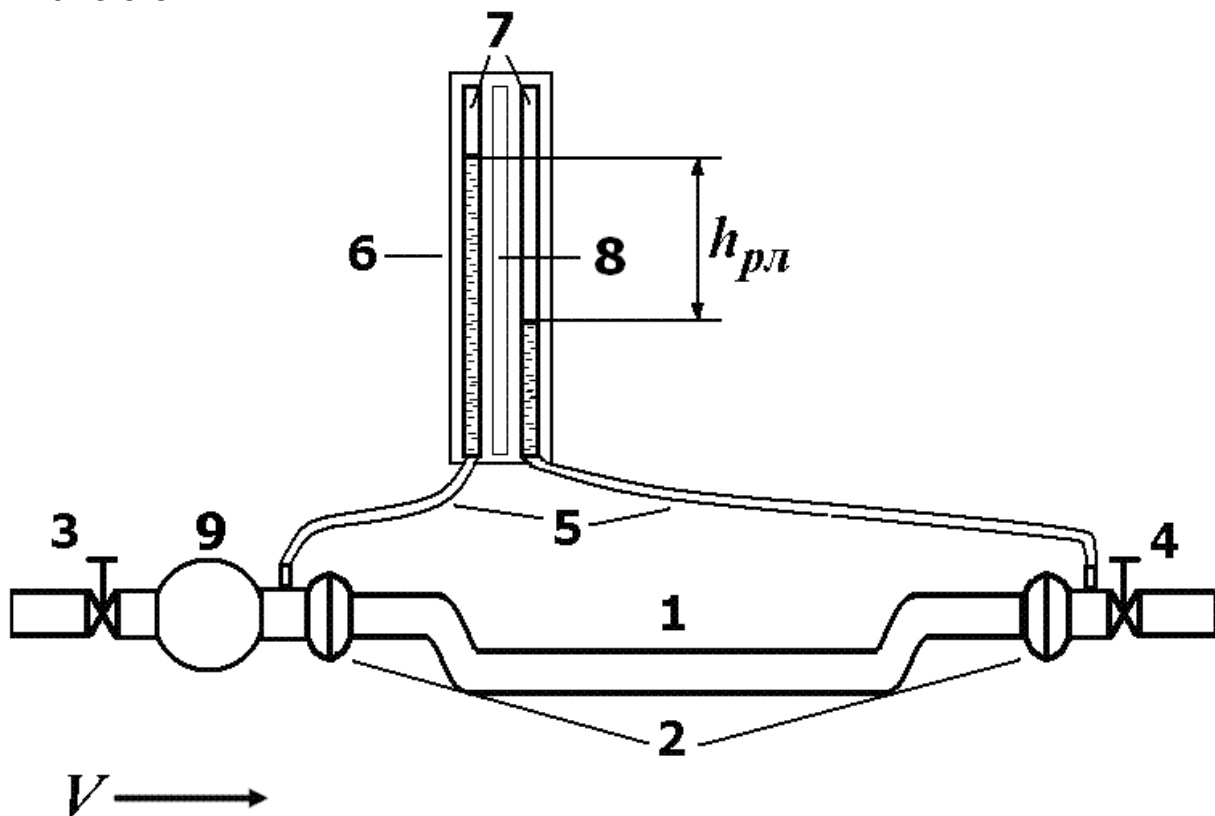


Рисунок 3.1. Схема лабораторної установки для визначення втрати напору в рукаві

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Виконання роботи на лабораторній установці проводиться у такому порядку.

1. Підготовка установки до роботи в частині, пов'язаній з використанням диференціального манометра, виконується в тому ж порядку, що і в лабораторній роботі № 2 (див. опис до неї).
2. Вимірювання втрат напорів і витрати води в рукаві проводиться наступним чином:
 - а) відкрити лівий робочий вентиль 3 при злегка відкритому правому вентилі 4; по трубках 5 вода надходить до скляних трубок 7, при «зашкаленні» показань в диференціальному манометрі за допомо-

- гою вентилів 3 і 4 домогтися того, щоб водні стовпчики в лівій та правій скляних трубках знаходилися в межах шкали;
- б) зняти й записати показання диференціального манометра 6, визначивши за допомогою шкали 8 рівень водних стовпчиків відповідно в лівій і правій скляних трубках; різниця між ними і є величиною втрат напору в рукавній лінії $h_{\text{рл}}$;
- в) виміряти час t проходження через пожежний рукав об'єму рідини W води відповідно до даної втрати напору за допомогою водоміра 9 і секундоміра;
- г) злегка прикрити регулювальний ventиль 4 для зменшення витрати води;
- д) результати вимірювань і характеристики рукава (довжина, діаметр і матеріал) записати в журнал лабораторних робіт.

По закінченні робіт на установці закрити ventиль на вході рукавної лінії 3 та відкрити ventиль на виході 4.

ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Втрати напору в рукавній лінії виразити в м. вод. ст. Обчислити об'ємну витрату води за допомогою формули $Q = \frac{W}{t}$, а за формулою

(3.1) визначити опір одного рукава S , порівнявши його зі значенням, наведеним в Таблиці 3.1. При цьому необхідно пам'ятати, що дослідження проводяться на рукаві довжиною 10 м, тобто вдвічі меншим у порівнянні зі стандартним. Проаналізувати залежність втрати напорів від витрати води в рукаві, його довжини, матеріалу та зробити щодо цього висновки в журналі лабораторних робіт.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТІКАННЯ ВОДИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ ТА НАСАДКИ.

Метою лабораторної роботи є практичне визначення часу неповного спорожнення резервуара та порівняння його з обчисленим теоретичним значенням, визначення коефіцієнту швидкості та сумарного коефіцієнту опору системи отвір–труба–вентиль–з'єднувальна головка-насадка, через яку здійснюється витіканні струменя.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

У багатьох галузях техніки зустрічаються різного роду задачі, пов'язані з витіканням рідини через різноманітні за формою і розмірами отвори і насадки.

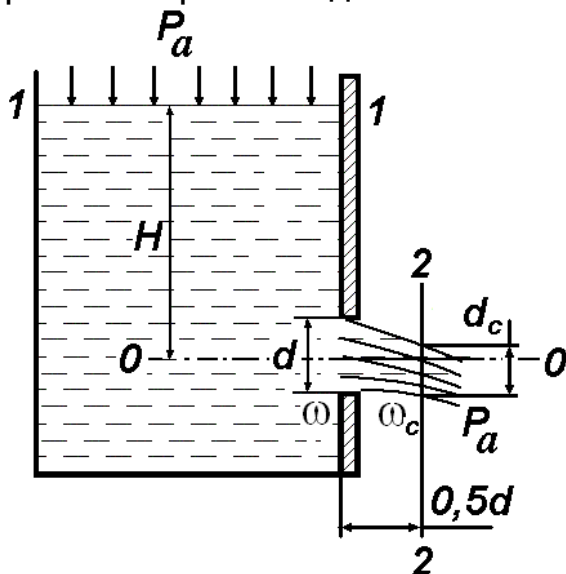


Рисунок 4.1.

Для кількісної оцінки ступеня стиснення струменя в теорії витікання використовують **коефіцієнт стиснення струменя** ε

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega}. \quad (4.1)$$

На ступінь стиснення, очевидно, впливає розміщення отвору по відношенню до дна і вертикальних стінок. Якщо отвір буде достатньо далеким від дна і бокових стінок, то останні не впливають на ступінь стиснення струменя. Таке стиснення струменя називають **досконалим**. Якщо ці умови не виконуються і отвір розміщується біля дна або стінок резервуара, то вони впливають на ступінь стиснення струменя,

що витікає. Таке витікання називають витіканням при **недосконалomu стисненні**. Згідно з цим розрізняють отвори з досконалим і недосконалим стисненням.

За ступенем повноти стиснення виділяють **повне і неповне стиснення**.

При розміщенні отвору таким чином, що у певній частині периметра відсутнє стиснення, траєкторії частинок у цій частині периметра будуть прямолінійними. Подібне витікання називають **витіканням при неповному стисненні**.

Досліди показують, що на форму струменя, який витікає з отвору, істотний вплив має форма самого отвору. Залежно від форми останнього струмінь на різних відстанях від отвору може приймати різні форми. Це явище називають **інверсією струменя**. Його першопричиною є різні за значенням і напрямком швидкості в різних точках периметра отвору. Отвори поділяють на **малі** та **великі**. Якщо розміри отвору по вертикалі достатньо малі порівняно з напором H (Рисунок 4.1), тобто $d \ll H$ (звичайно $d < 0,1 H$), то можна наближено приймати, що всі частинки рідини витікають під одним і тим самим напором, рівним напору в центрі ваги отвору, отже, і з однаковою швидкістю. Водночас швидкість підходу рідини до отвору мала у порівнянні зі швидкістю витікання струменя, що забезпечується більш ніж п'ятиразовим перевищенням площі резервуару порівняно з площею отвору. Такі отвори називають **малими**.

При достатньо великих розмірах отвору по вертикалі геометричні напори у верхніх і нижніх точках отвору помітно відрізняються і допускати рівність швидкостей у поперечному перерізі, як у випадку малого отвору, не можна. Такі отвори називають **великими**.

Для визначення швидкості витікання рідини з отвору запишемо рівняння Бернуллі для перерізів 1-1 і 2-2 відносно горизонтальної площини 0-0

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h. \quad (4.2)$$

Втрати напору між перерізами визначаються за формулою Вейсбаха

$$h = \zeta_0 \cdot \frac{V_2^2}{2g}, \quad (4.3)$$

де ζ_0 - коефіцієнт опору отвору. Оскільки $z_1 = H$, $z_2 = 0$, $V_1 = 0$, $P_1 = P_2 = P_a$, то рівняння (4.2) з урахуванням (4.3) спрощується

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \zeta_o \frac{V_2^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g} \cdot (1 + \zeta_o), \quad (4.4)$$

звідки швидкість витікання дорівнює

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_o}} \sqrt{2gH} = \varphi \sqrt{2gH}, \quad \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_o}}, \quad (4.5)$$

де φ - **коефіцієнт швидкості**. Якщо $\varphi=1$, тобто відсутній опір отвору – відверта ідеалізація реального процесу, отримуємо теоретичну швидкість витікання рідини через отвір $V_{\text{ТЕОР}} = \sqrt{2gH}$. Водночас з (4.5) можна отримати коефіцієнт опору як функцію φ -

$\zeta_o = \frac{1}{\varphi^2} - 1$. Витрата рідини, що витікає з отвору, дорівнює для стисненого струменя

$$Q = V_2 \omega_c = \varepsilon \varphi \omega \sqrt{2gH} = \mu \omega \sqrt{2gH}, \quad \mu = \varepsilon \cdot \varphi. \quad (4.6)$$

Добуток $\varepsilon \cdot \varphi$ називають **коефіцієнт витрати** і позначають μ , тоді остаточно $Q = \mu \omega \sqrt{2gH}$. Коефіцієнти μ і ε визначають дослідним шляхом, φ - після обчислення. Формула для визначення витрати рідини через боковий отвір має той же вигляд, що й для донного отвору. Допущені при виводі цієї формули неточності виправляються уточненням значень коефіцієнту витрати μ .

У багатьох сучасних машинах і апаратах використовується витікання рідин з **насадок**.

Насадкою називається приєднана до отвору в стінці резервуару коротка трубка того ж діаметра, що й отвір, з метою зміни витрати і швидкості витікання струменя. Зазвичай довжина насадки $l = 3 \div 4d$. Найбільш поширеними типами насадок є (Рисунок 4.2):

- 1) циліндрична насадка – зовнішня (а) та внутрішня (б);
- 2) конічна насадка – збіжна (в) та розбіжна (г);
- 3) коноїдна насадка криволінійного контуру, яка має форму стисненого струменя (д).

На Рисунку 4.2 чітко видно, що відбувається зі струменем при вході в насадку, як деформуються окремі струминки, і в якому вигляді струмінь виходить з насадки.

Витікання води і піни з насадок має велике значення в практиці гасіння пожеж. Для одержання водяних і пінних струменів застосовуються пожежні стволи і зрошувачі з різними по конструкції насадками. З гідравлічної точки зору витікання води з насадок (сприсків) характеризується цілою низкою закономірностей, які необхідно знати пожежному працівникові.

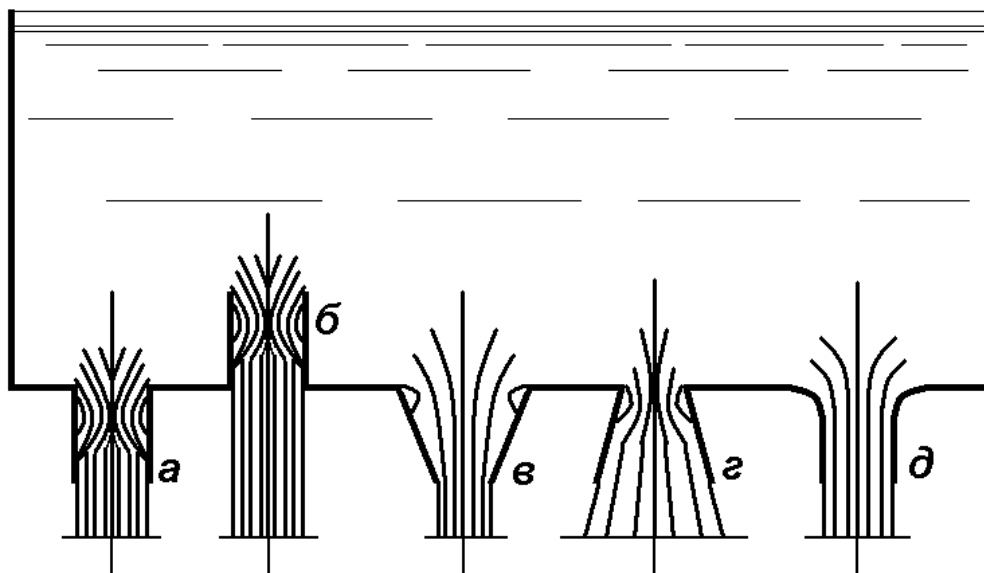


Рисунок 4.2. Типи насадок

Насадки різних типів знаходять саме широке використання в техніці і пожежній справі. Залежно від конструкції насадки застосовують для підвищення вихідних швидкостей, збільшення сили і дальності польоту струменів (гідромонітори, ручні і лафетні пожежні стволи), створення розпилених струменів (розпилювачі, пульверизатори, спринклери, дренчери, стволи-розпилювачі, зрошувачі), створення вакууму і підйому рідини (ежектори, гідроелеватори, піногенератори, пінні стволи), виміру витрати рідини (газу), збільшення пропускної здатності отворів тощо

Для визначення витрати води при витіканні струменя через насадку за умов постійності геометричних розмірів останньої зручніше користуватися більш простою порівняно з (4.6) формулою

$$Q = k\sqrt{H}, \quad (4.7)$$

де $k = \mu\omega\sqrt{2g}$ - провідність насадки, яка залежить від її діаметра.

Якщо врахувати, що $S = \frac{1}{k^2}$ - опір насадки даного діаметра, то напір у насадці слід розраховувати за формулою

$$H = SQ^2. \quad (4.8)$$

З формули (4.7) видно, що напір води у насадці витрачається на подолання опору й утворення струменя. Таким чином, швидкість струменя, витрата і напір води є важливими параметрами для розрахунку пожежних струменів і насосно-рукавних систем.

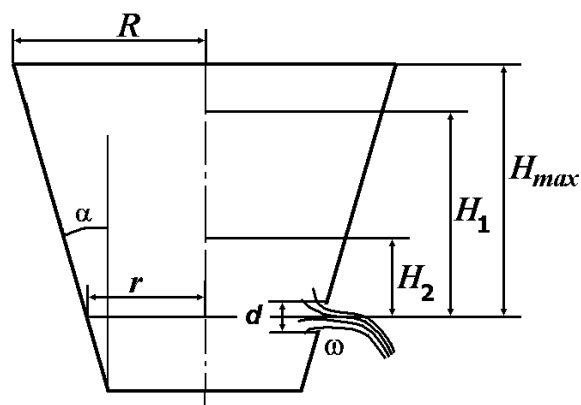


Рисунок 4.3. Резервуар конічної форми

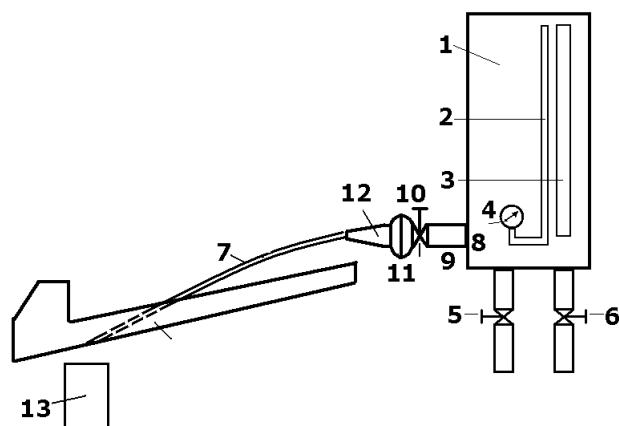


Рисунок 4.4.

В інженерних задачах зустрічаються випадки, коли поряд з витіканням через отвір або насадку одночасно в резервуар надходить рідина. Якщо приплив не дорівнює відпливу, то витікання проходитиме при змінному рівні, тобто при змінному напорі. Якщо ж витрата, що надходить, перевищуватиме витрату, яка витікає через отвір, то відбувається наповнення резервуара, у протилежному випадку починається його спорожнення.

Для практичних потреб важливо вміти обчислити час, протягом якого в резервуарі відбудеться зміна рівнів у заданому інтервалі від висоти H_1 до H_2 через отвір площиною ω (діаметр отвору d) з коефіцієнтом витрати μ . Для резервуара конічної форми (Рисунок 4.3) залежність зміни поперечного перерізу резервуара за висотою відома і задана як $\omega(H)$. Якщо припливу нема, час спорожнення резервуара буде

$$t = \int_{H_1}^{H_2} \frac{\omega(H)}{\mu \omega \sqrt{2gH}} dH. \quad (4.9)$$

Радіус конуса, що відповідає будь-якому напору в інтервалі $0 \leq H \leq H_{max}$

$$r(H) = r + H \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (4.10)$$

де α - кут між віссю та утворюючою конуса – визначається

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R-r}{H_{\max}}. \quad (4.11)$$

Тоді формула для часу неповного спорожнення від рівня H_1 до H_2 остаточно набуває вигляду

$$t = \frac{2\pi}{\mu\omega\sqrt{2g}} \left[r^2 \cdot (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) + \frac{2}{3} r \cdot (H_1\sqrt{H_1} - H_2\sqrt{H_2}) \operatorname{tg} \alpha + \right. \\ \left. + \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{5} (H_1^2\sqrt{H_1} - H_2^2\sqrt{H_2}) \right] \quad (4.11)$$

В другій частині роботи визначається коефіцієнт швидкості для системи отвір 8- труба 9- вентиль 10- з'єднувальна голівка 11- насадка 12, через яку вода надходить з напірного резервуару 1 і витікає назовні у вигляді струменя 7 (Рисунок 4.4). Для визначення коефіцієнту опору ζ_C для подальшої підстановки у формулу (4.5) і формальною заміною ζ_O необхідно знати всі коефіцієнти опору вказаної системи: отвору ζ_O , труби $\zeta_{\text{ТР}}$, вентиля $\zeta_{\text{ВЕНТ}}$, з'єднувальної головки $\zeta_{\text{Г}}$, насадки $\zeta_{\text{НАС}}$, що дає сумарно $\zeta_C = \zeta_O + \zeta_{\text{ТР}} + \zeta_{\text{ВЕНТ}} + \zeta_{\text{НАС}}$. Коефіцієнт швидкості φ для вказаної системи опорів визначається наступним чином

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_C}}. \quad (4.12)$$

На жаль, подібне вирішення потребує точного визначення ζ_C , що потребує точного визначення усіх складових наведеного коефіцієнту. В роботі пропонується інший шлях визначення φ - через порівняння теоретичної та дійсної (реальної) V_P швидкості витікання струменя

$$\varphi = \frac{V_P}{\sqrt{2gH}}, \quad (4.13)$$

що є нескладною задачею за умов знання об'ємної витрати Q та площі отвору насадки ω . Тоді коефіцієнт ζ_C

$$\zeta_c = \omega^2 \frac{2gH}{Q^2} - 1 = \frac{1}{\varphi^2} - 1. \quad (4.14)$$

ОПИС ЛАБОРАТОРНИХ УСТАНОВОК

Для проведення першої частини лабораторної установки використовується посудина у формі зіченого конуса (Рисунок 4.3). В другій частині використовується установка, наведена на Рисунку 4.4. На ній позначені:

1 – напірний резервуар, 2 – скляна трубка з водою, що показує рівень води в напірному резервуарі, 3 – лінійка для вимірювання напору в резервуарі, 4 – манометр тиску, 5 – вентиль з трубою для подачі води в напірний резервуар, 6 – вентиль з трубою для зливу води з напірного резервуару, 7 – струмінь, 8 – отвір в напірному резервуарі, 9 – труба, 10 – вентиль, 11 – з'єднувальна головка, 12 – насадка, 13 – мірна ємність.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

В першій частині роботи визначається час неповного спорожнення резервуара та порівнюється з обчисленим теоретичним, вона виконується наступним чином:

1. Визначаються геометричні розміри резервуару: внутрішній радіус верхньої основи R , внутрішній радіус на рівні центру отвору r , максимальна висота H_{max} – відстань між віссю, що проходить через центр отвору, та верхньою основою.
2. Визначається діаметр отвору d .
3. При закритому отворі наповнити резервуар до рівня H_1 .
4. Відкрити отвір. За допомогою секундоміра визначити час $t_{\text{пп}}$ спорожнення резервуара до рівня H_2 . Мають виконуватися наступні співвідношення по висотах $H_{max} \geq H_1 > H_2 > 0$. Слід обирати рівень H_2 , при якому ще виконуються умови прийняття отвору малим.

В другій частині визначаються витрата і швидкість витікання води з насадки та коефіцієнт швидкості і виконується наступним чином:

1. При закритому вентилі 10 відкрити вентиль 5, при цьому вода подається до напірного резервуару 1. Контроль рівня води в ньому здійснюється за допомогою лінійки 3.
2. Після того, як рівень води в напірному резервуарі 1 становитиме H_{Λ} , відкрити вентиль 10, що призведе до витікання води через насадку 12.
3. Збільшуючи подачу води в напірний резервуар 1, при незмінному ступені відкритості вентиля 10 відкрити вентиль 6 таким чином, щоб рівень води в напірному резервуарі 1 був незмінним і становив H_{Λ} .
4. Провести вимірювання витрати води через насадку 12 за допомогою секундоміра та мірної ємності. Значення W , t та H_{Λ} записати до журналу лабораторних робіт. Якщо нульова відмітка лінійки 3 не збігається з поздовжньою віссю насадки, тобто розташована вище за неї на деяку висоту h , то дійсний напір потребує уточнення $H = H_{\Lambda} + h$. В подальших розрахунках необхідно використовувати саме цю величину.
5. Закрити вентиль 5, відкрити вентиля 6 та 10 для повного спорожнення напірного резервуара 1.

ОБРОБКА І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ.

В роботі допускається визначення всіх лінійних розмірів в сантиметрах, необхідні величини площі визначаються в квадратних сантиметрах, прискорення вільного падіння $g \approx 981 \text{ см/с}^2$.

В першій частині роботи визначаються:

1. Діаметр отвору d .
2. Площа отвору $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$.
3. Радіуси R та r .
4. Рівні $H_{\max}$, H_1 , H_2 .
5. Величина $\operatorname{tg} \alpha = \frac{R-r}{H_{\max}}$ за формулою (4.11).
6. Дійсне значення часу спорожнення для вказаних умов $t_{\text{ІП}}$.
7. Теоретичне значення часу спорожнення резервуара $t_{\text{ТЕОР}}$ за формулою (4.11), прийнявши коефіцієнт витрати $\mu = 0,61$.

8. Порівняти $t_{\text{ТЕОР}}$ з $t_{\text{ПР}}$.

В другій частині роботи визначаються:

1. Діаметр отвору насадки d .

2. Площа отвору $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$.

3. Напір за показником шкали H_{Λ} , поправочний доданок h і дійсне значення $H = H_{\Lambda} + h$.

4. Об'єм мірної ємності W , час її наповнення t .

5. Об'ємна витрата $Q = \frac{W}{t}$.

6. Дійсна середня швидкість витікання рідини $V_p = \frac{Q}{\omega}$.

7. Коефіцієнт швидкості φ за формулою (4.13).

8. Коефіцієнт опору ζ_C системи отвір 8-труба 9-вентиль 10-з'єднувальна голівка 11-насадка 12.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ СТРУМЕНЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ОПОРУ ПОВІТРЯ

Метою лабораторної роботи є визначення коефіцієнту опору (тертя) повітря, порівняння теоретичного та дійсного значення дальності польоту струменя.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Струменем називається потік рідини, не обмежений стінками, що рухається в масі такої ж або іншої рідини. Розрізняють рідкі і газові струмені. У залежності від умов руху струмені можуть бути **затопленими** і **незатопленими**.

Струмінь (рідкий) називається незатопленим, якщо він рухається в газовому просторі. До незатоплених струменів відносяться водяні і пінні струмені, що випливають у повітряний простір. Найбільш широко застосування незатоплені водяні струмені знайшли в практиці пожежогасіння.

Водяні струмені підрозділяються на **суцільні**, які утворюються за допомогою ручних і лафетних пожежних стволів, і **розпилені**, утворені від спеціальних насадок-розпилювачів.

Суцільні водяні струмені відрізняються своєю компактністю, великою дальністю польоту і сильною динамічною дією. Строго говорячи, суцільні струмені одержують при напорі не більш 2—3 м. При великих напорах у струмені можна виділити дві її частини: суцільну, або **компактну**, та **роздрібнену**.

У компактній частині зберігається суцільність потоку, струмінь має циліндричну або близьку до неї форму, у роздрібненій частині порушується суцільність потоку, струмінь розривається на усе більш дрібні частини і розширюється. Поняття компактної частини струменя є відносним, оскільки різкої грані між нею і роздрібненою частиною не існує. Визначення компактної частини вперше сформулював Фріман у 1888 р. Він запропонував за довжину компактної частини суцільного водяного струменя приймати ту його частину, що несе 75% усієї кількості води в колі діаметром 26 см і 90% води в колі діаметром 38 см.

Практично розподіл струменя на компактну і роздрібнену частини може бути здійснено на підставі візуального спостереження за струменем, вимірювання щільності струменя в різних точках і досвіду використання струменів у певній галузі техніки.

Руйнування струменя проходить під впливом діючих на нього сил ваги, опору повітря і внутрішніх сил, які виникають внаслідок турбулентності струменя і коливально-хвильового характеру руху рідини в ньому. На певній стадії розпаду струменя додатковими сили, що сприяють роздрібненню струменя на краплі, будуть виступати сили поверхневого натягу.

Для створення розвинутої компактної частини необхідно зменшити турбулентність і ліквідувати гвинтовий характер руху вихідного з насадки струменя шляхом застосування різних випрямлячів, які встановлюються у стволі, і поліпшення чистоти обробки деталей ствола. Для знищення компактної частини, навпаки, застосовуються різного роду розпилювачі.

У випадку, коли суцільний водяний струмінь вилітає з насадки з діаметром отвору d з початковою швидкістю V_0 і рухається в повітряному просторі подібно твердому тілу, кинутому під кутом φ_0 до обрію, його теоретична траєкторія буде параболою 1 (Рисунок 5.1). На струмінь діють сили інерції, тяжіння G та опору повітря R . Тому в дійсності траєкторія 2 буде відрізнятися від теоретичної через причини, які були вказані вище. Основною з них є опір повітря, спрямований по дотичній до траєкторії в кожній точці в бік, протилежний руху: при малих швидкостях руху $V < 0,2$ м/с він пропорційний першому ступеню швидкості, при швидкостях руху $0,2 < V < 240$ м/с він пропорційний квадрату значення швидкості.

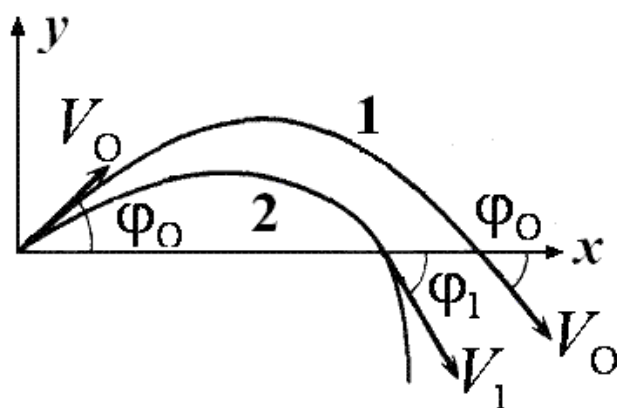


Рисунок 5.1.

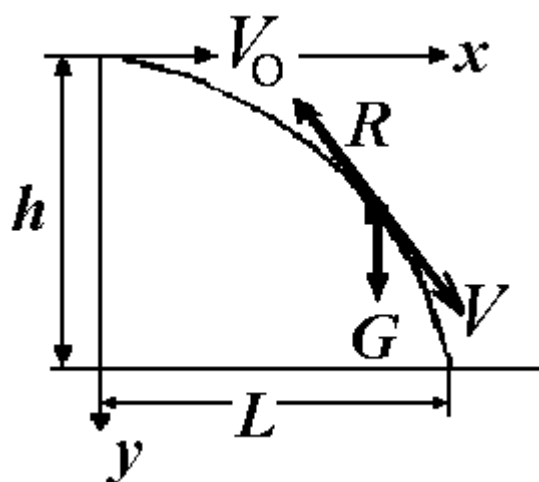


Рисунок 5.2.

Якщо кут $\varphi_0 = 0$, тобто струмінь вилітає паралельно поверхні Землі (Рисунок 5.2), для означеної системи координат згідно з теорією руху матеріальної точки рівнянням траєкторії струменя буде

$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{g}{V_0^2} + \frac{k}{2d} \right) x^2, \quad (5.1)$$

де k – коефіцієнт опору (тертя) в повітрі. Дальність польоту L струменя визначається абсцисою в момент падіння, тобто підстановкою в рівняння (5.1) $y = h$. Тоді

$$0 = L^2 \left(\frac{g}{V_0^2} + \frac{k}{2d} \right) - 2h \quad (5.2)$$

Формула (5.1) дає гарний збіг з дослідом лише при напорах витікання $H = 3,5\text{—}7$ м вод. ст. Розбіжність теоретичних і практичних даних визначається складною структурою струменя, недостатнім знанням законів опору, що виникає при русі струменя в повітрі. Тому для розрахунку траєкторій використовуються емпіричні дані.

ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Для виконання роботи використовується лабораторна установка, зображена на Рисунку 5.3, на якому позначені:

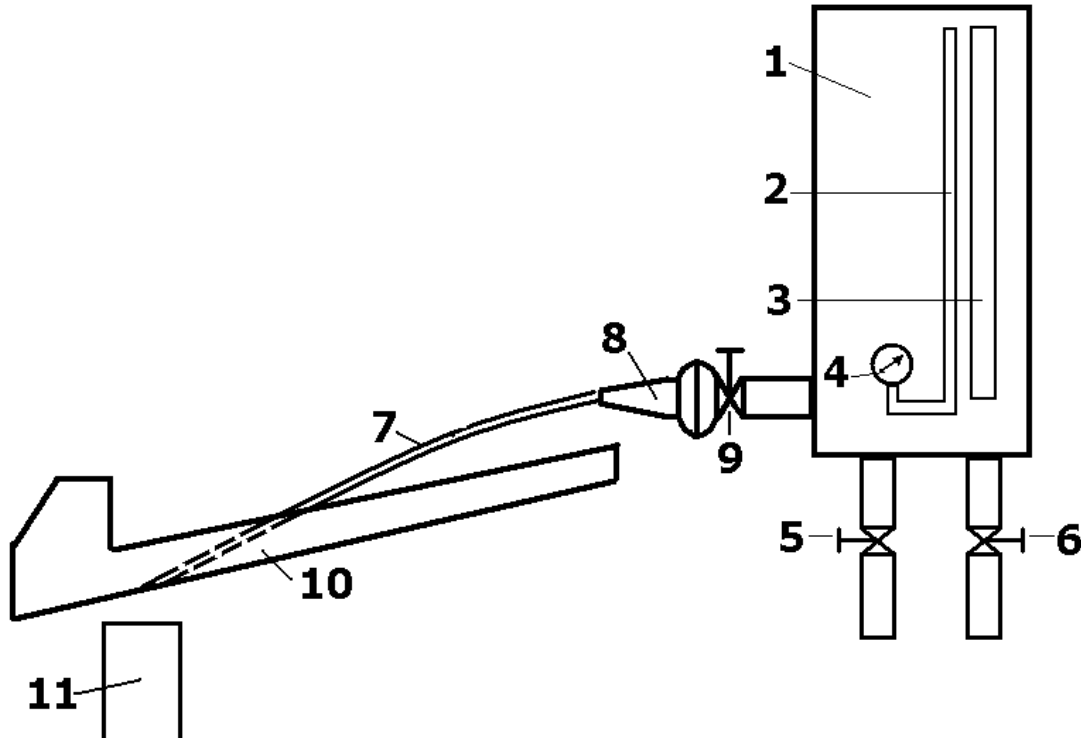


Рисунок 5.3. Схема лабораторної установки

1 – напірний резервуар, 2 – скляна трубка з водою, що показує рівень води в напірному резервуарі, 3 – лінійка для вимірювання напору в

резервуарі, 4 – манометр тиску, 5 – вентиль з трубою для подачі води в напірний резервуар, 6 - вентиль з трубою для зливу води з напірного резервуару, 7 – струмінь, 8 – насадка, 9 - вентиль, 10 – лоток, 11 – мірна ємність.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Схематично установку та необхідні для розрахунку параметри наведені на Рисунку 5.4.

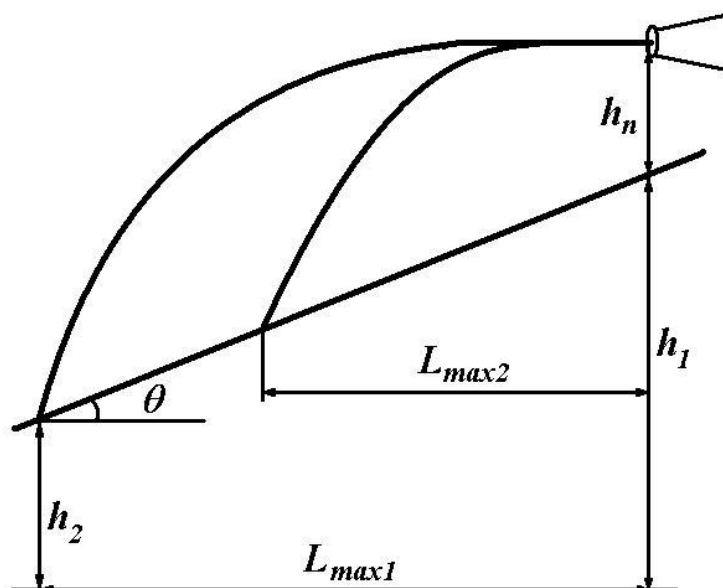


Рисунок 5.4.

Лабораторна робота виконується наступним чином.

1. Відкриваючи вентиль 5, при закритому вентилі 9 заповнити напірний резервуар водою до певного рівня H_1 .
2. Відкрити вентиль 9, розпочавши витікання рідини через насадку 8. Зменшення рівня води в резервуарі компенсувати більшим відкриттям вентилля 5, встановлюючи постійність рівня H_1 . Слід зазначити, що абсолютна величина напору H_1 нас не цікавить.
3. Ступінь відкриття вентилля 9 протягом всього досліду залишається незмінною, що забезпечує постійність коефіцієнту швидкості струменя.
4. Визначити місце падіння струменя 7 на лоток 10, визначити довжину струменя L_{max1} (Рисунок 5.4).
5. Визначити час наповнення t_1 мірної ємності об'ємом W .

6. Відкрити вентиль 6 для зливу води з напірного резервуару, закрити вентиль 5 і зменшити рівень води до напору H_2 .
7. Закрити вентиль 6 і підтримувати вказаний рівень постійним необхідним відкриттям вентиля 5.
8. Визначити місце падіння струменя 7 на лоток 10, визначити довжину струменя L_{max2} (Рисунок 5.4).
9. Визначити час наповнення t_2 мірної ємності об'ємом W .
10. Визначити дійсний діаметр отвору насадки d .
11. Провести вимірювання для визначення кута нахилу θ лотка 10 до поверхні Землі. Для цього необхідно в межах довжини лотка взяти дві точки: одну за вертикаллю, що проходить через площину зрізу насадки, а другу – точку падіння струменя з довжиною L_{max1} . Використовуючи будь-яку плоску поверхню (наприклад, стіл або підлогу), провести вимірювання параметрів висот h_1 і h_2 .
12. Провести вимірювання початкової висоти падіння струменя h_{Π} що є відстанню за вертикаллю від осі насадки до поверхні лотка.
13. Закрити вентиль 5, відкрити вентиля 6 та 9 для повного спорожнення напірного резервуара 1.

ОБРОБКА І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Користуючись даними вимірювань, визначити:

1. Площу отвору насадки $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$.
2. Середні витрати води $Q_1 = \frac{W}{t_1}$ та $Q_2 = \frac{W}{t_2}$ відповідно для двох вимірювань.
3. Середні швидкості потоку води в трубопроводі $V_1 = \frac{Q_1}{\omega}$ та $V_2 = \frac{Q_2}{\omega}$.
4. Тангенс кута нахилу лотка $tg\theta = \frac{h_1 - h_2}{L_{max1}}$.
5. Коефіцієнт опору (тертя) повітря k за формулою

$$k = 4d \left(\frac{h_{\Pi} + L_{\max 1} \cdot \operatorname{tg} \theta}{(L_{\max 1})^2} - \frac{g}{2V_1^2} \right). \quad (5.3)$$

6. Використовуючи обчислений коефіцієнт k , знайти відповідну (для другого дослід) теоретичну дальність польоту струменя $L_{\max 2}^{\text{теор}}$ за формулою

$$L_{\max 2}^{\text{ТЕОР}} = \frac{\operatorname{tg} \theta + \sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + 2h_{\Pi} \left(\frac{g}{V_2^2} + \frac{k}{2d} \right)}}{\frac{g}{V_2^2} + \frac{k}{2d}}. \quad (5.4)$$

7. Порівняти цю величину $L_{\max 2}^{\text{теор}}$ з дальністю польоту струменя $L_{\max 2}$, яка одержана у другому досліді.
8. Обчислити теоретичну дальність польоту струменя $L_{\max 2}^*$ для другого дослід без урахування опору тертя повітря за формулою

$$L_{\max 2}^* = V_2 \left(\frac{\operatorname{tg} \theta \cdot V_2}{g} + \sqrt{\left(\frac{\operatorname{tg} \theta \cdot V_2}{g} \right)^2 + \frac{2h_{\Pi}}{g}} \right). \quad (5.5)$$

8. Порівняти $L_{\max 2}^{\text{теор}}$ та $L_{\max 2}^*$. Визначити відносну похибку δ (%) за формулою

$$\delta = \frac{|L_{\max 2}^* - L_{\max 2}^{\text{теор}}|}{L_{\max 2}^{\text{теор}}} \cdot 100. \quad (5.6)$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Гидравлика и противопожарное водоснабжение / под ред. Ю.А.Кошмарова.-М.: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1985.-384 с.
2. Левицький Б.Ф. Гідравліка. Загальний курс / Б.Ф.Левицький, Н.П.Лещій.-Львів: Світ, 1994.-264 с.
3. Ходаков В.Ф. Гидравлика в пожарном деле / В.Ф.Ходаков.-М.: Высшая школа МООП РСФСР, 1965.-204 с.
4. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах: Учеб. пособие для втузов: в 3 т. / М.И.Бать, Г.Ю.Джанелидзе, А.С.Кельзон.-М.:Наука, 1991.- Т.2, Динамика.-1991- 640 с.
5. Технічна механіка рідини і газу. Курс лекцій. Друге видання, виправлене та доповнене / Уклад. В.М.Халипа, С.О.Вамболь, І.В.Міщенко, О.В.Прокопов.-Х.: НУЦЗУ, 2011.-216 с.
6. Технічна механіка рідини і газу. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи / Уклад. В.М.Халипа, С.О.Вамболь, І.В.Міщенко.-Х.: УЦЗУ, 2007.-64 с.

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ ВОДИ	4
Лабораторна робота № 2. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРІВ І ВТРАТ НАПОРУ ВОДИ В ТРУБО- ПРОВІДІ	9
Лабораторна робота № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРІВ І ВТРАТ НАПОРУ ВОДИ В ПОЖЕ- ЖНИХ РУКАВАХ	..15
Лабораторна робота № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТІКАННЯ ВОДИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ ТА НАСАДКИ	..19
Лабораторна робота № 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ СТРУМЕНЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ОПОРУ ПОВІТРЯ	..28
ЛІТЕРАТУРА.....	..34

Навчальне видання

Укладачі: **Міщенко** Ігор Вікторович
Кондратенко Олександр Миколайович
Дейнеко Наталя Вікторівна

Технічна механіка рідини і газу.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт

Відповідальний за випуск І.В.Міщенко

Підп. до друку Формат 60x84 1/16
Папір 80 г/см². Друк ризограф. Умовн.-друк. арк. 2,0
Тираж 150 прим. Вид № Зам №

**Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023, Харків, вул. Чернишевська, 94**