

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

# **ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ**

**Робочий зошит  
Лабораторні роботи**

**НАВЧАЛЬНА ГРУПА \_\_\_\_\_**

**ПРІЗВИЩЕ, ІНІЦІАЛИ \_\_\_\_\_**

**Харків 2016**

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

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

**Рецензенти:** А.В.Бондаренко – доцент кафедри гідравлічних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук, доцент;

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

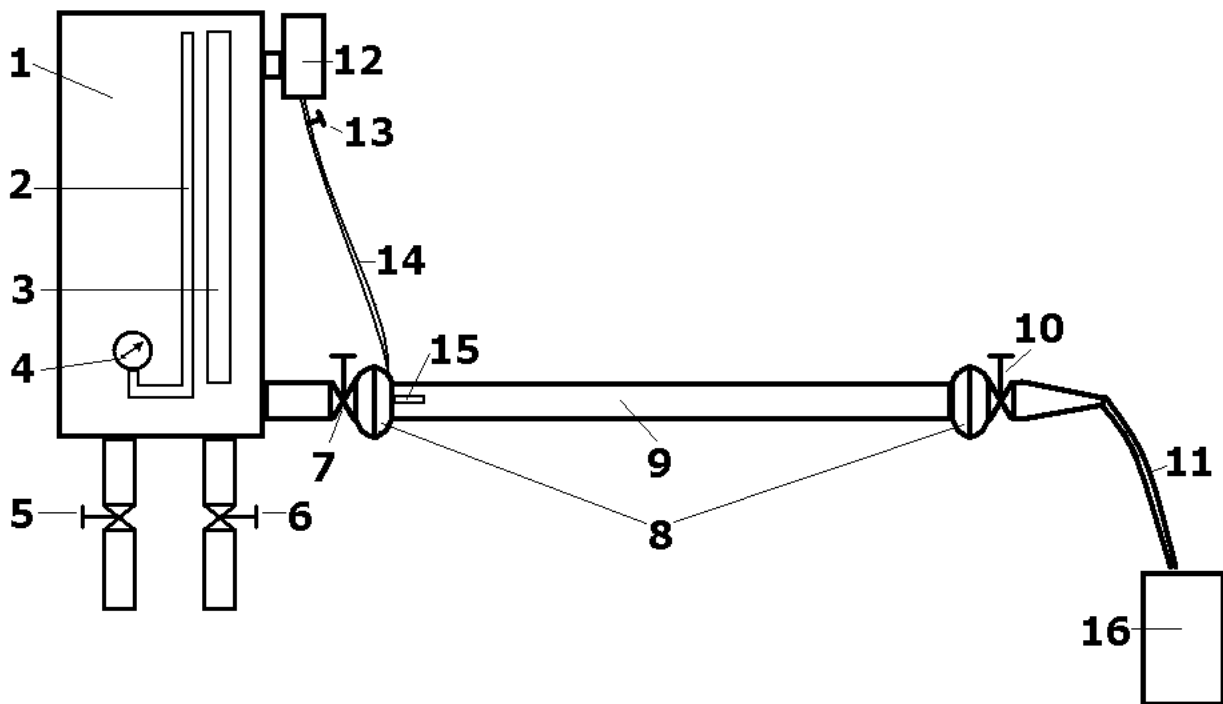
**Технічна** механіка рідини і газу. Робочий зошит. Лабораторні роботи (перевидання) / Уклад. І.В. Міщенко, Н.В. Дейнеко, О.М. Кондратенко.- Х.: НУЦЗУ, 2016.-28 с.

Відповідальний за випуск І.В. Міщенко

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ ВОДИ

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

### ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ



**Рисунок 1.1. Схема лабораторної установки Рейнольдса**

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 – бак з розчином барвника, 13 – краник, 14 – шланг для подачі барвника, 15 – наконечник, 16 – мірна ємність.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Відкрити кран 5, подаючи воду в напірний резервуар і заповнюючи його. Протягом кожного з дослідів необхідно підтримувати рі-

вень 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 витратити 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 витікання  $t$ . Дані, що відповідають двом дослідам, записуються двічі в окремий стовпчик.

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

Таблиця 1.1 - Значення кінематичних коефіцієнтів в'язкості води при різній температурі

град, °C	см <sup>2</sup> /с	град, °C	см <sup>2</sup> /с	град, °C	см <sup>2</sup> /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

	Дослід 1		Дослід 2	
Діаметр скляного трубопроводу	$d =$ см			
Температура води	$T =$ °C			
Об'єм води, що витікає з трубопроводу	$W =$ л = см <sup>3</sup>			
Кінематичний коефіцієнт в'язкості	$\nu =$ см <sup>2</sup> /с			
Площа перерізу трубопроводу	$\omega = \frac{\pi d^2}{4} =$ см <sup>2</sup>			
Час витікання води	$t_1 =$ с		$t_2 =$ с	
Середня витрата води	$Q_1 = \frac{W}{t_1} =$ см <sup>3</sup> /с		$Q_2 = \frac{W}{t_2} =$ см <sup>3</sup> /с	
Середні швидкості потоку води в трубопроводі	$V_1 = \frac{Q_1}{\omega} =$ см/с		$V_2 = \frac{Q_2}{\omega} =$ см/с	
Числа Рейнольдса $Re$	$Re_1 = \frac{V_1 d}{\nu} =$		$Re_2 = \frac{V_2 d}{\nu} =$	
Порівняння з критичним значенням $Re_{кр}$				
Режим руху				

## ВИСНОВКИ

1. Чим характеризуються режими руху води в трубах та пожежних рукавах ?

---

---

---

2. Від яких чинників залежить режим руху та як вони впливають на зміну режимів руху рідини?

---

---

---

3. Як визначити середню швидкість потоку води?

---

---

---

4. Що таке в'язкість рідини?

---

---

---

5. Які коефіцієнти визначають в'язкість?

---

---

---

6. Нарисуйте загальний рух рідини з барвником в трубопроводі відповідно до ламінарного та турбулентного руху.

Особистий підпис

Відмітка

Підпис викладача

## 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.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ. ОПИС ЛАБОРАТОРНИХ УСТАНОВОК

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.

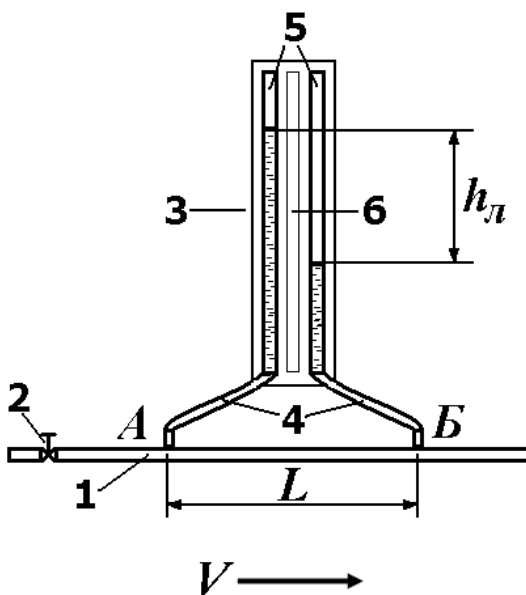


Рисунок 2.1.

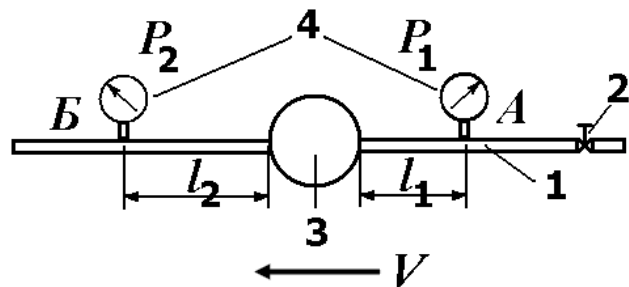
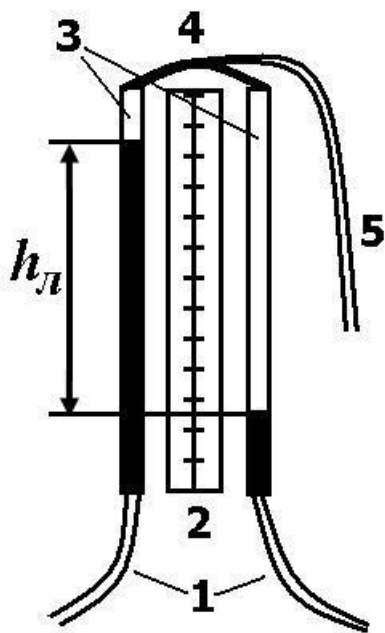


Рисунок 2.2.



**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  $h_{\Delta}$  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 спорожняються.

Друга установка (Рисунок 2.2), на якій проводяться вимірювання місцевої втрати напору на водомірі та лінійних втрат напору, складається зі сталевго трубопроводу 1, який за поперечними розмірами,



матеріалу, терміном і 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  $h_{\Lambda 1}$ ,  $h_{\Lambda 2}$  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  $h_{\Lambda 1} + h_{\Lambda 2}$ . 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 вентиля подачі води.

## ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Перед проведенням розрахунків треба переконатися в можливості використання формул для визначення лінійних та місцевих втрат напору. 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.Шевелєва встановлено, що квадратична область в водопровідних трубах настає при швидкості руху рідини  $V > 1,2$  м/с. Тому при  $V \leq 1,2$  м/с формули можна уточнити наступним чином

$$h_{\Lambda} = \delta S_{\Lambda} Q^2, \quad (2.1)$$

$$h_M = \delta S_M Q^2, \quad (2.2)$$

де  $\delta$  - 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.

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

### ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

	Дослід 1	Дослід 2
Об'єм води, що протікає по трубопроводу	$W_1 =$ л	$W_2 =$ л
Час протікання води	$t_1 =$ с	$t_2 =$ с
Втрати напору	лінійна $h_{\Lambda} =$ м	$P_1 =$ ат, $P_2 =$ ат, загальна $h_{\Sigma} = (P_1 - P_2) \cdot 10 =$ = м вод. ст.
Лінійні розміри,	$L =$ м	$l_1 =$ м, $l_2 =$ м
Середня витрата води	$Q_1 = \frac{W_1}{t_1} =$ м <sup>3</sup> /с	$Q_2 = \frac{W_2}{t_2} =$ м <sup>3</sup> /с
Визначені опори	Питомий опір $A =$	Місцевий опір $S_M =$

З 1-го дослідю визначають питомий опір трубопроводу  $A$ ,

$$A = \frac{h_{\Lambda}}{L(\delta Q_1)^2} = \text{с}^2/\text{м}^6.$$

З 2-го дослідю з урахуванням  $h_{\Sigma} = h_{\Lambda} + h_{\text{М}}$  (сумарні втрати напору складаються з лінійних і місцевих) місцевий опір водоміра

$$S_{\text{М}} = \frac{h_{\Sigma}}{(\delta Q_2)^2} - A(l_1 + l_2) = \text{с}^2/\text{м}^5.$$

## ВИСНОВКИ

1. Що є гідравлічним опором?

---

---

---

---

2. Дати визначення лінійних та місцевих втрат напору. Чому вони виникають, від чого та як залежать?

---

---

---

---

---

---

---

---

3. Як впливають режими руху рідини на втрати напору?

---

---

---

---

---

---

4. Як проводять розрахунок лінійних та місцевих втрат напору ?

---

---

---

---

Особистий підпис

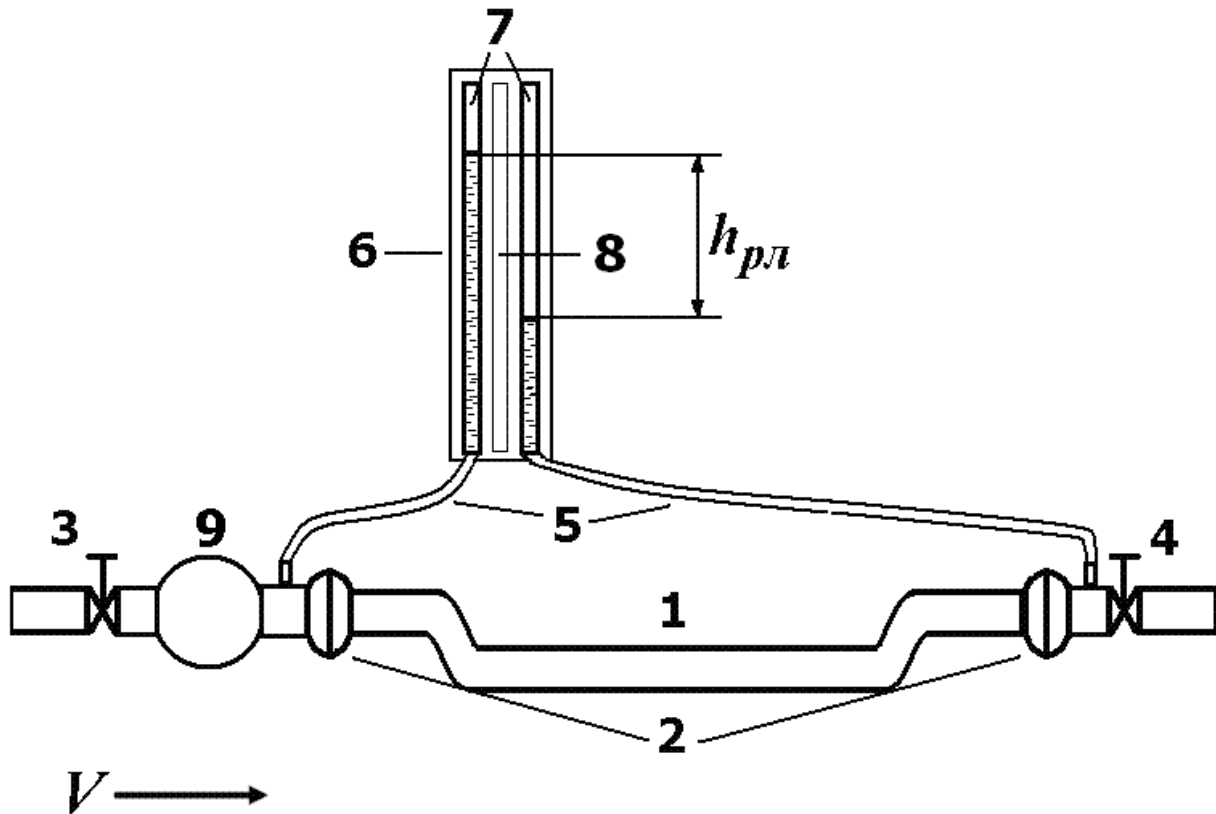
Відмітка

Підпис викладача

## 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.

### ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ



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

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 за допомогою відповідно 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  $h_{р\Lambda}$  визначається за шкалою 8.

## 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 вентилю 4; по трубкам 5 вода надходить до скляних трубок 7, при «зашкаленні» показань в диференціальному манометрі за допомогою 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  $h_{р\Lambda}$ ;
  - 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 вентиль 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 вентиль на вході рукавної лінії 3 та відкрити вентиль на виході 4.

## ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Втрати напору в рукаві  $h_{р\Lambda} =$  , м. вод. ст.;
2. Об'єм води, що проходить через рукавну лінію  $W =$  л;

3. Час проходження вказаного об'єму води через рукавну лінію

$t =$  с.

4. Обчислити об'ємну витрату води  $Q = \frac{W}{t} =$  л/с;

5. Визначити опір одного рукава  $S$  за формулою  $h_{p\Lambda} = nSQ^2$  з урахуванням  $n = \frac{1}{2}$ . Визначений опір одного рукава  $S$  порівняти зі значенням, наведеним в Таблиці 3.1.

$$S = \frac{2h_{p\Lambda}}{Q^2} = \text{м}\cdot\text{с}^2/\text{л}^2.$$

Таблиця 3.1.

Діаметр $d$ , мм	Рукава прогумовані		Рукава непрогумовані	
	$S$ , м·с <sup>2</sup> /л <sup>2</sup>	$A$ , с <sup>2</sup> /л <sup>2</sup>	$S$ , м·с <sup>2</sup> /л <sup>2</sup>	$A$ , с <sup>2</sup> /л <sup>2</sup>
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	-	-

## ВИСНОВКИ

1. Від чого залежить опір пожежного рукава?

---

---

---

2. В якому рукаві (новому чи колишньому в споживанні) опір більший?

---

---

---

---

3. Як і навіщо розраховуються втрати напору в рукавних лініях?  
Як практично їх можна визначити?

---

---

4. Яка залежність втрат напору від об'ємної витрати води і довжини рукавних ліній?

---

---

5. Яким рукавам треба віддати перевагу при подачі води на великі відстані?

---

---

Особистий підпис

Відмітка

Підпис викладача

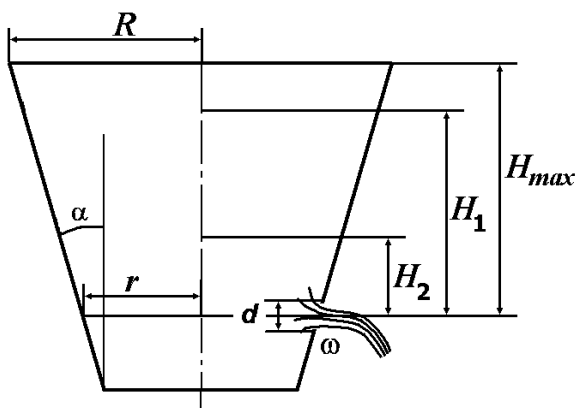
## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТІКАННЯ ВОДИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ ТА НАСАДКИ

**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.

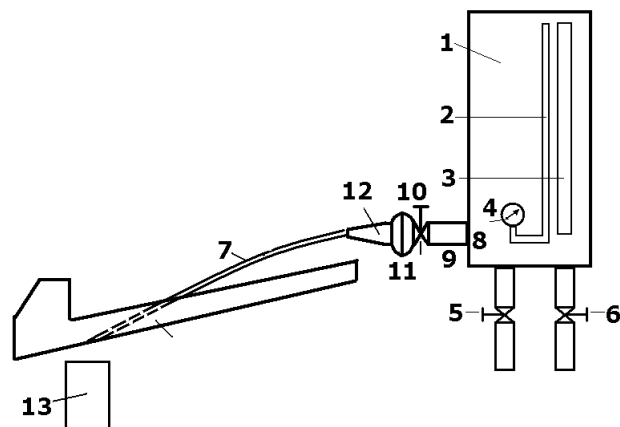
### ОПИС ЛАБОРАТОРНИХ УСТАНОВОК

Для проведення першої частини лабораторної установки використовується посудина у формі зсіченого конуса (Рисунок 4.1). В другій частині використовується установка, наведена на Рисунку 4.2. 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.



**Рисунок 4.1. Резервуар конічної форми**



**Рисунок 4.2.**

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ (ЧАСТИНА 1)

Робота виконується наступним чином:



1. Визначити радіус верхньої основи резервуару  $R$ .
2. Визначити діаметр отвору  $d$  та радіус основи на рівні центральної осі отвору  $r$ .
3. При закритому отворі наповнити резервуар до рівня  $H_1 < H_{max}$ .
4. Відкрити отвір. За допомогою секундоміра визначити час  $t_{\text{ІП}}$  спорожнення резервуара до рівня  $0 < H_2 < H_1$ .

### 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  $d =$       см.
2. Площа отвору  $\omega = \frac{\pi d^2}{4} =$       см<sup>2</sup>.
3. Радіуси  $R =$       см та  $r =$       см.
4. Рівні  $H_{max} =$       см,  $H_1 =$       см,  $H_2 =$       см.
5. Величина  $\text{tg}\alpha = \frac{R - r}{H_{max}} =$       .
6. Дійсне значення часу спорожнення для вказаних умов  $t_{\text{ІП}} =$       с.
7. Теоретичне значення часу спорожнення резервуара  $t_{\text{ТЕОР}}$  за формулою

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

=      с,

приймавши коефіцієнт витрати  $\mu = 0,61$ .

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

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ (ЧАСТИНА 2)

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 4.2). Для визначення коефіцієнту опору  $\zeta_C$  для подальшої підстановки у розрахункову формулу необхідно знати всі коефіцієнти опору вказаної системи: отвору  $\zeta_O$ , труби  $\zeta_{\text{ТР}}$ , вентиля  $\zeta_{\text{ВЕНТ}}$ , з'єднувальної головки  $\zeta_{\text{Г}}$ , насадки  $\zeta_{\text{НАС}}$ , що дає сумарно  $\zeta_C = \zeta_O + \zeta_{\text{ТР}} + \zeta_{\text{ВЕНТ}} + \zeta_{\text{НАС}}$ . За відсутності інформації стосовно окремих коефіцієнтів опору в роботі необхідно через порівняння дійсної та теоретичної швидкостей витікання рідини визначити шуканий коефіцієнт опору системи  $\zeta_C$ .

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

В другій частині визначаються витрата і швидкість витікання води з насадки та коефіцієнт швидкості. Робота 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  $H_{\Delta}$ , 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  $H_{\Delta}$ .
4. Провести вимірювання витрати води через насадку 12 за допомогою секундоміра та мірної ємності. Значення  $W$ ,  $t$  та  $H_{\Delta}$  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 уточ-

нення  $H = H_{\Lambda} + h$ . В подальших розрахунках необхідно використувати саме цю величину.

5. Закрити вентиль 5, відкрити вентилі 6 та 10 для повного спорожнення напірного резервуара 1.

### ОБРОБКА І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

В другій частині роботи визначаються:

1. Діаметр отвору насадки  $d =$             см.
2. Площа отвору  $\omega = \frac{\pi d^2}{4} =$             см<sup>2</sup>.
3. Напір за показником шкали  $H_{\Lambda} =$             см, поправочний доданок  $h =$             см і дійсне значення  $H = H_{\Lambda} + h =$             см.
4. Об'єм мірної ємності  $W =$             л =            см<sup>3</sup>, час її наповнення  $t =$             с.
5. Об'ємна витрата  $Q = \frac{W}{t} =$             см<sup>3</sup>/с.
6. Дійсна середня швидкість витікання рідини  $V_p = \frac{Q}{\omega} =$             см/с.
7. Коефіцієнт швидкості  $\varphi$  за формулою  $\varphi = \frac{V_p}{\sqrt{2gH}} =$             .
8. Коефіцієнт опору  $\zeta_C$  системи отвір 8-труба 9-вентиль 10-з'єднувальна голівка 11- насадка 12  $\zeta_C = \omega^2 \frac{2gH}{Q^2} - 1 = \frac{1}{\varphi^2} - 1 =$

### ВИСНОВКИ

1. Дати визначення гідравлічного струменя?

---

---

---

---

---

2. Що враховує коефіцієнт швидкості ?

---

---

3. Що враховує коефіцієнт стиснення?

---

---

4. Від чого залежить теоретичний час спорожнення (повного або неповного) резервуару довільної форми?

---

---

5. Що відбувається зі струменем під час проходження через отвір і насадку?

---

---

6. Які типи насадок є найбільш поширеними в практичному використанні?

---

---

7. Укажіть коефіцієнти швидкості, стиснення та витрати для основних типів насадок.

---

---

Особистий підпис

Відмітка

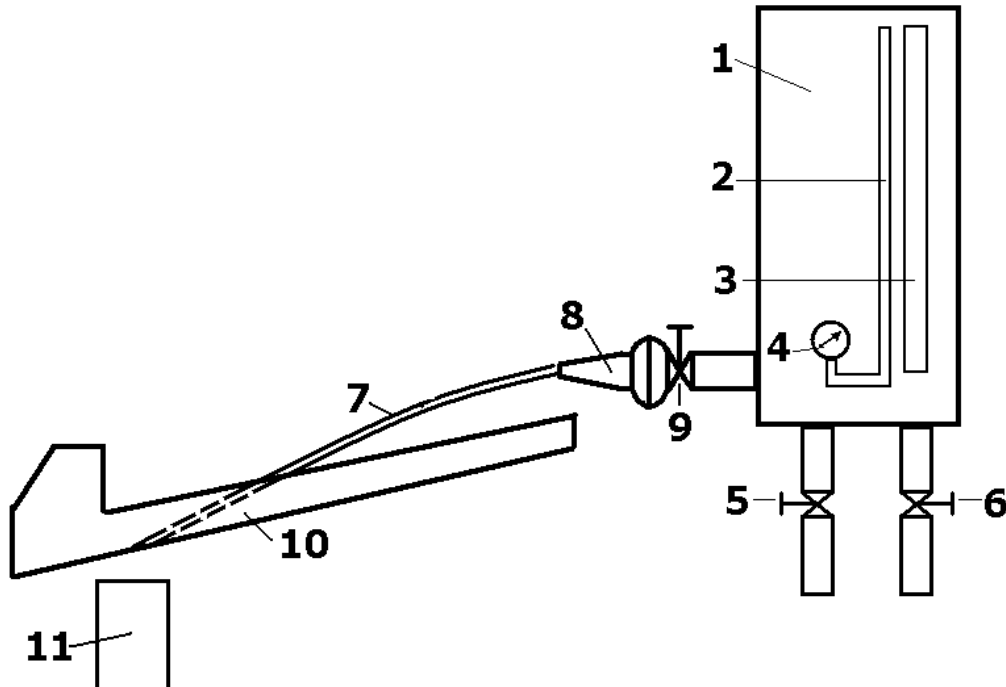
Підпис викладача

## 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.

### ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Для виконання роботи використовується лабораторна установка, зображена на Рисунку 5.1, на якому позначені:

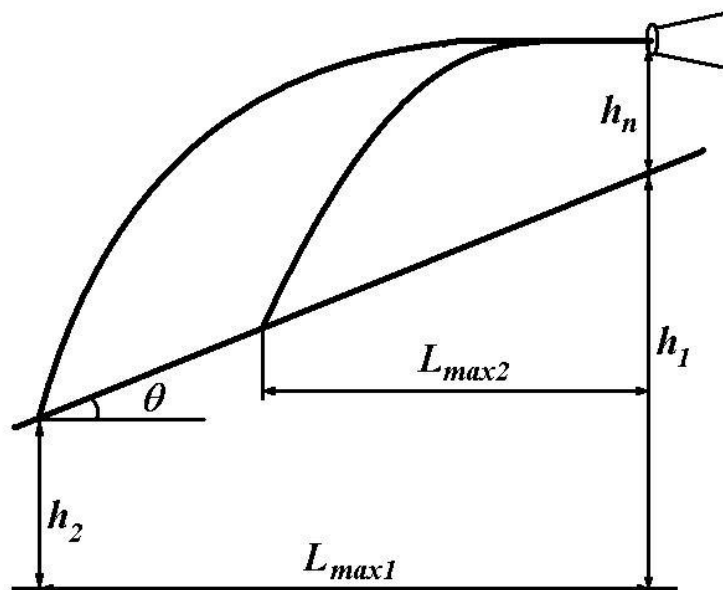


**Рисунок 5.1. Схема лабораторної установки**

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 5.2.



**Рисунок 5.2.**

- 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 вентиля 5, встановлюючи постійність рівня  $H_1$ . Слід зазначити, що абсолютна величина напору  $H_1$  нас не цікавить.
  3. Ступінь відкриття вентиля 9 протягом всього дослідження залишається незмінною, що забезпечує постійність коефіцієнту швидкості струменя.
  4. Визначити місце падіння струменя 7 на лоток 10, визначити довжину польоту струменя  $L_{max1}$  (Рисунок 5.2).
  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 польоту струменя  $L_{max2}$  (Рисунок 5.2).
  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  $\theta$  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  $h_{\Pi}$ , що є відстанню за вертикаллю від осі насадки до поверхні лотка.
13. Закрити вентиль 5, відкрити вентилі 6 та 9 для повного спорожнення напірного резервуара 1.

### ОБРОБКА І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Внутрішній діаметр насадки необхідно визначити безпосередньо під час проведення роботи через певні відмінності від заданого ( $d = 13$  мм).

	Дослід 1	Дослід 2
Прискорення вільного падіння	$g \approx 981 \text{ см/с}^2$	
Внутрішній діаметр насадки	$d = \quad \text{см}$	
Площа перерізу насадки	$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \quad \text{см}^2$	
Об'єм мірної ємності	$W = \quad \text{л} = \quad \text{см}^3$	
Час наповнення мірної ємності	$t_1 = \quad \text{с}$	$t_2 = \quad \text{с}$
Геометричні розміри	$h_{\Pi} = \quad \text{см}, h_1 = \quad \text{см}, h_2 = \quad \text{см}$	
Довжина струменя	$L_{max1} = \quad \text{см}$	$L_{max2} = \quad \text{см}$
Тангенс кута нахилу лотка	$\text{tg}\theta = \frac{h_1 - h_2}{L_{max1}} =$	

Середня витрата води	$Q_1 = \frac{W}{t_1} = \text{см}^3/\text{с}$	$Q_2 = \frac{W}{t_2} = \text{см}^3/\text{с}$
Середня швидкість польоту струменя	$V_1 = \frac{Q_1}{\omega} = \text{см}/\text{с}$	$V_2 = \frac{Q_2}{\omega} = \text{см}/\text{с}$

Коефіцієнт опору (тертя) повітря  $k$  визначають за формулою

$$k = 4d \left( \frac{h_{\Pi} + L_{max1} \cdot tg\theta}{(L_{max1})^2} - \frac{g}{2V_1^2} \right) =$$

Використовуючи обчислений коефіцієнт  $k$ , знайти відповідну (для другого дослідю) теоретичну дальність польоту струменя  $L_{max2}^{теор}$  за формулою

$$L_{max2}^{теор} = \frac{tg\theta + \sqrt{tg^2\theta + 2h_{\Pi} \left( \frac{g}{V_2^2} + \frac{k}{2d} \right)}}{\frac{g}{V_2^2} + \frac{k}{2d}} =$$

Порівняти (більше, менше або дорівнює) величину  $L_{max2}^{теор}$  з дальністю польоту струменя  $L_{max2}$ , яка одержана у другому дослідю.

$$L_{max2}^{теор} \quad L_{max2}$$

Обчислити теоретичну дальність польоту струменя  $L_{max2}^*$  для другого дослідю без урахування опору тертя повітря за формулою

$$L_{max2}^* = V_2 \left( \frac{tg\theta \cdot V_2}{g} + \sqrt{\left( \frac{tg\theta \cdot V_2}{g} \right)^2 + \frac{2h_{\Pi}}{g}} \right) =$$

Порівняти  $L_{max2}$ ,  $L_{max2}^{теор}$  та  $L_{max2}^*$

$$L_{max2} \quad L_{max2}^{теор} \quad L_{max2}^*$$



Визначити відносну похибку  $\delta$  (%) за формулою

$$\delta = \frac{|L_{max 2}^* - L_{max 2}^{теор}|}{L_{max 2}^{теор}} \cdot 100 =$$

### ВИСНОВКИ

1. З яких частин складаються вертикальний та нахилений струмені?

---

---

---

2. Які сили діють на струмінь в повітряному просторі?

---

---

---

3. Як враховують опір повітря? Чим він зумовлений?

---

---

---

4. Чи можна нехтувати опором повітря при розрахунках дальності польоту струменя ?

---

---

---

Особистий підпис

Відмітка

Підпис викладача

ДЛЯ ПРИМІТОК



## **Навчальне видання**

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

## **Технічна механіка рідини і газу**

Робочий зошит. Лабораторні роботи

Відповідальний за випуск І.В.Міщенко

Підп. до друку 15.06.2016 р. Формат 60x84 1/16  
Папір 80 г/см<sup>2</sup>. Друк ризограф. Умовн.-друк. арк. 1,8  
Тираж прим. Вид № 31/16

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