

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 4

«ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТИ НАПОРУ НА МІСЦЕВІ ОПОРИ»

З ДИСЦИПЛІН:

«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»,

«ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

ЗА ОСВІТНІМ РІВНЕМ «БАКАЛАВР»

ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ:

«161 – ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ»;

«101 – ЕКОЛОГІЯ»

Затверджено на засіданні
кафедри ПАтаЗХТ.

Протокол № 10 від 15.06.2018

Дніпро ДВНЗ УДХТУ 2019

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 4 «Визначення втрати напору на місцеві опори» з дисциплін: «Процеси та апарати хімічних виробництв», «Процеси та апарати природоохоронних технологій» за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальностей: «161 – Хімічні технології та інженерія»; «101 – Екологія» / Укл. С.О. Опарін, Т.В. Гриднєва, Ю.Є. Скар – Д.: ДВНЗ УДХТУ. – 2019. – 12 с.

Укладачі: Т.В. Гриднєва, канд. техн. наук
С.О. Опарін, канд. техн. наук
Ю.Є. Скар, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск Кравченко О.В., д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 4 «Визначення втрати напору на місцеві опори» з дисциплін: «Процеси та апарати хімічних виробництв», «Процеси та апарати природоохоронних технологій» за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальностей: «161 – Хімічні технології та інженерія»; «101 – Екологія»

Укладачі: ОПАРІН Сергій Олександрович
ГРИДНЄВА Тетяна Василівна
СКНАР Юрій Євгенович

Технічний редактор Колісник Г.М.
Комп'ютерна верстка Колісник Г.М.

Підписано до друку 17.07.19. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов. друк. арк. 0,5. Обл.-вид. арк. 0,6. Тираж 100 прим. Зам. № 6.
Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015.

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТИ НАПОРУ НА МІСЦЕВІ ОПОРИ

Мета роботи – визначити дослідним шляхом втрату напору на місцеві опори та порівняти з розрахунковою втратою напору.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Визначення втрати напору або тиску є важливою практичною задачею, що пов'язана із розрахунком енергії на переміщення рідини або газу за допомогою насосів, компресорів тощо.

Втрати напору *виникають* при подоланні гідравлічного опору, який складається з *опору тертя* й *місцевих опорів*.

Опір тертя виникає при русі реальної рідини по всій довжині трубопроводу за рахунок сил внутрішнього тертя, зумовлених в'язкістю, і силами тертя між рідиною та стінкою труби. На опір тертя впливає режим руху рідини і шорсткість трубопроводу.

Місцевий опір виникає при будь-якій зміні швидкості потоку або напрямку руху. До місцевих опорів відносять: вхід і вихід трубопроводу, раптове звуження й розширення коліна, відводи (рис. 1.), запірні й регулівні пристрої (рис. 2.) і т.ін.

При зміні швидкості в потоці рідини виникають удари, які призводять до появи зворотної течії – вихорів або застійних зон. При зміні напрямку потоку починають виявлятися інерційні сили. В обох випадках ці явища призводять до зменшення напору потоку.

Втрати напору в трубопроводі ($h_{\text{вт}}$) складаються з втрат напору на тертя ($h_{\text{тр}}$) і втрат напору на місцеві опори ($h_{\text{м.о.}}$):

$$h_{\text{вт}} = h_{\text{тр}} + h_{\text{м.о.}}, \quad (1.1)$$

Якщо помножити праву і ліву частину рівняння (1.1) на ρg , отримаємо рівняння для визначення гідравлічного опору (Δp):

$$\rho g h_{\text{вт}} = \rho g h_{\text{тр}} + \rho g h_{\text{м.о.}}, \quad (1.1a)$$

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м.о.}}, \quad (1.1b)$$

де $\Delta p_{\text{тр}}$ – втрати тиску на тертя, Па;

$\Delta p_{\text{м.о.}}$ – втрати тиску на місцеві опори, Па;

Якщо довжина трубопроводу є незначною, то втратою напору на тертя можна знехтувати, тобто $h_{\text{тр}} = 0$, тоді втрату напору слід розглядати як втрату напору тільки на подолання місцевих опорів:

$$h_{\text{вт}} = h_{\text{м.о.}}. \quad (1.2)$$

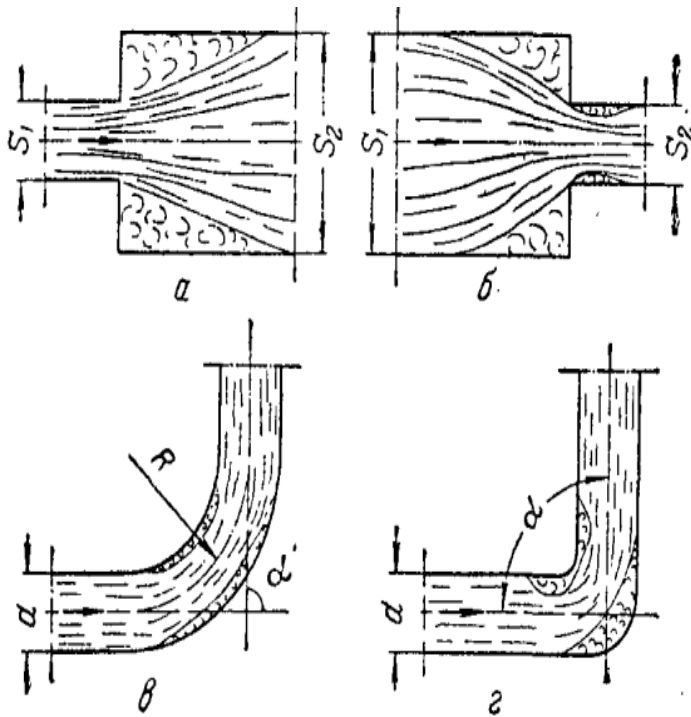


Рисунок 1 – Деякі місцеві опори:

- а) – раптове розширення;
- б) – раптове звуження;
- в) – відвід (на 90°);
- г) – коліно (на 90°).

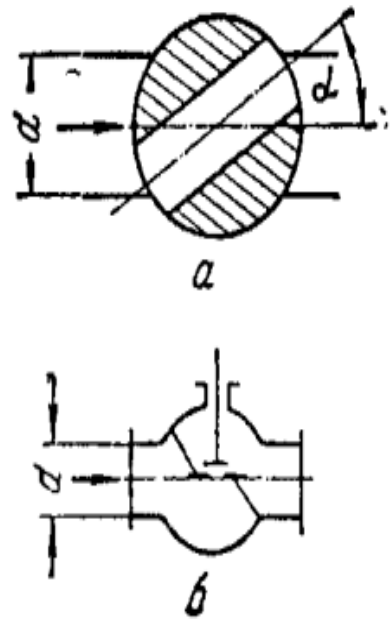


Рисунок 2 – Деякі запірно-регулівні пристрої:

- а) – пробковий кран;
- б) – вентиль.

Втрату напору на одному (i -му) місцевому опорі можна визначити за формулою:

$$h_{m.o.i} = \zeta_{m.o.i} \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (1.3)$$

де $\zeta_{m.o.i}$ – коефіцієнт місцевого опору.

Коефіцієнт місцевого опору є довідковою величиною і залежно від виду місцевого опору його знаходять за табл. XIII [2].

Втрату напору на місцевих опорах можна визначити за формулою:

$$h_{m.o.} = \sum \zeta_{m.o.i} \cdot \frac{\omega^2}{2g} \quad (1.4)$$

Втрати тиску на місцевих опорах ($\Delta p_{m.o.}$, Па) можна визначити за формулою:

$$\Delta p_{m.o.} = \sum \zeta_{m.o.i} \cdot \frac{\omega^2 \cdot g}{2} \quad (1.5)$$

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Установка для визначення втрати напору на місцеві опори (рис. 3) складається з напірного баку 1, трубопроводу, на якому розміщені місцеві опори (*a* – відвід, *b* – раптове розширення, *c* – раптове звуження, *d* – коліно), вентилів 3, 5, 6, 7, п'єзометрів 8, встановлені до та після кожного місцевого опору, мірної ємності 4 й термометра 2.

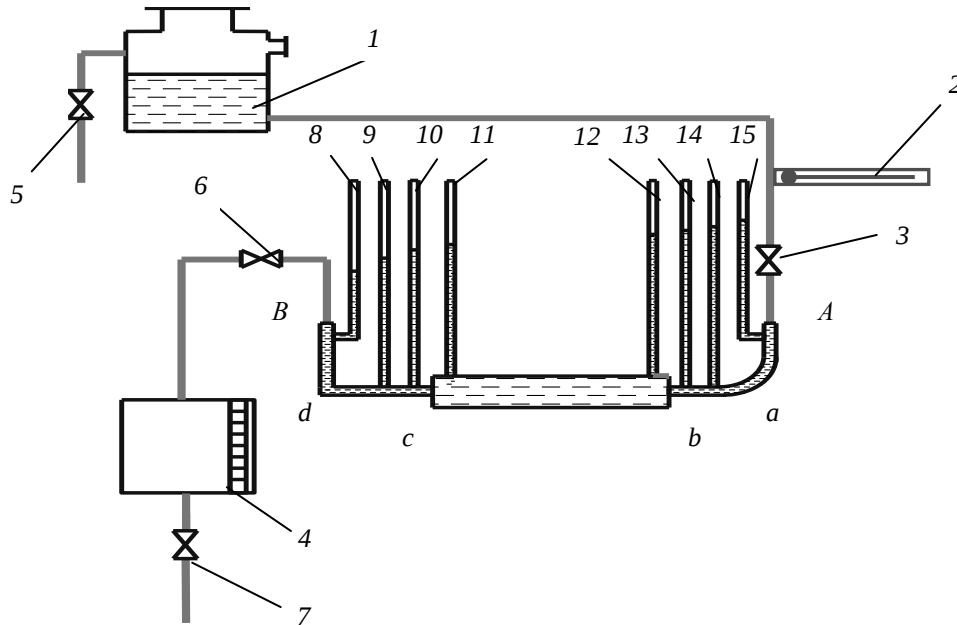


Рисунок 3 – Схема установки по визначенню втрати напору на місцеві опори:
1 – напірний бак; 2 – термометр; 3, 5, 6, 7 – вентиль; 4 – мірна ємність;
8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 – п'єзометри.

3 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Відкрити вентиль 6. Перевірити нульові значення рівнів у п'єзометрах 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15.
2. Закрити вентиль 7.
3. Вентилем 3 встановити витрату рідини, яка є достатньою для визначення різниці рівнів у п'єзометрах.
4. Зафіксувати показання п'єзометрів і термометра 2.
5. Заміряти об'єм наповненої рідини у мірному баку 4 (V) за певний проміжок часу (τ).
6. Положення вентилів 3 змінюють 3 – 4 рази, фіксуючи напір у п'єзометрах, об'єм рідини, час її наповнення та температуру води.

4 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

1. Визначити об'ємну витрату рідини (Q), як відношення об'єму рідини в мірній ємності (V) до часу її наповнення (τ), ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q = V/\tau. \quad (4.1)$$

2. Розрахувати значення середньої швидкості у звуженій та розширеній частині трубопроводу, (м/с):

$$\omega_1 = \frac{Q}{S_1}, \quad \omega_2 = \frac{Q}{S_2}, \quad (4.2)$$

де S_1, S_2 – площі поперечних перерізів звуженої та розширеної частин, відповідно.

Площі поперечних перерізів:

$$S_1 = \frac{\pi d^2}{4}, \quad S_2 = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (4.3)$$

де d, D – діаметри поперечних перерізів звуженої та розширеної частин трубопроводу, $d = 16 \text{ мм} = 0,016 \text{ м}$, $D = 50 \text{ мм} = 0,05 \text{ м}$.

3. Визначити значення швидкісних напорів у звуженій та розширеній частинах трубопроводу, (м):

$$h_{шв1} = \frac{\omega_1^2}{2g}, \quad h_{шв2} = \frac{\omega_2^2}{2g}. \quad (4.4)$$

4. Розв'язуючи рівняння Бернуллі для кожного місцевого опору, отримаємо залежності для розрахунку дослідної втрати напору, (м):

– для відводу:

$$h_{\partial(відв)} = h_8 - h_9, \quad (4.5)$$

– для раптового розширення:

$$h_{\partial(розш)} = \left(h_{10} + \frac{\omega_1^2}{2g} \right) - \left(h_{11} + \frac{\omega_2^2}{2g} \right), \quad (4.6)$$

– для раптового звуження:

$$h_{\partial(звуж)} = \left(h_{12} + \frac{\omega_1^2}{2g} \right) - \left(h_{13} + \frac{\omega_2^2}{2g} \right), \quad (4.7)$$

Таблиця.1

Дослідні та розрахункові значення

Назва місцевого опору	Дослідні значення				Розрахункові значення												
	Показання п'єзометрів		Об'єм рідини в мірному бачку, $V, \text{ м}^3$	Час наповнення рідини, $\tau, \text{ с}$	Температура води, $t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Об'ємна витрата рідини $Q, \text{ м}^3/\text{с}$	Площа перерізу		Середня швидкість		Швидкісний напір		Дослідна втрата напору $h_0, \text{ м}$	Число Рейнольдса, Re	Відношення площ перерізу, S_1/S_2	Довідковий коефіцієнт місцевого опору, $\xi_{м.о}$	Розрахункова втрата напору, $h_m, \text{ м}$
Відвід (R ₀ /d = 4)	$h_{8, \text{ м}}$	$h_{9, \text{ м}}$					$S_1, \text{ м}^2$	$S_2, \text{ м}^2$	$\omega_1, \text{ м/с}$	$\omega_2, \text{ м/с}$	$h_{шв1, \text{ м}}$	$h_{шв2, \text{ м}}$					
Раптове розширення	$h_{10, \text{ м}}$	$h_{11, \text{ м}}$															
Раптове звуження	$h_{12, \text{ м}}$	$h_{13, \text{ м}}$															
Коліно	$h_{14, \text{ м}}$	$h_{15, \text{ м}}$															

– для коліна:

$$h_{o(\text{коліно})} = h_{14} - h_{15}. \quad (4.8)$$

5. Обчислити значення критерію Рейнольдса при мінімальній швидкості (ω_1):

$$Re = \frac{\omega_1 \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (4.9)$$

та визначити відношення площ перерізу:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{d^2}{D^2}. \quad (4.10)$$

6. Залежно від виду опору (відвід, раптове розширення, раптове звуження, коліно) знайти за додатком 1 або за табл. XIII [2] довідкові коефіцієнти місцевих опорів.

7. Визначити розрахункову втрату напору на кожному місцевому опорі за формулою, (м):

$$h_{p.} = \zeta_{m.o.i} \cdot \frac{\omega^2}{2g} \quad (4.11)$$

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

Назва лабораторної роботи.

Мета роботи.

Схема установки та її опис.

Таблиця даних.

Розрахунки.

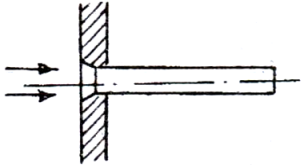
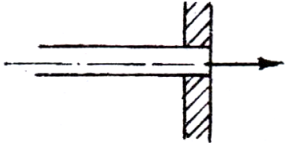
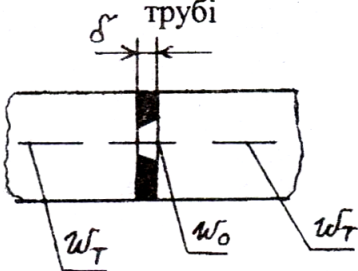
Висновки.

6. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Вказати мету роботи.
2. Що таке місцевий опір?
3. Навести типи місцевих опорів.
4. Навести схему раптового розширення.
5. Навести схему раптового звуження.
6. Навести схему відводу.
7. Навести схему коліна.
8. Внаслідок чого втрачається напір при раптовому розширенні?
9. Внаслідок чого втрачається напір при раптовому звуженні?
10. Внаслідок чого втрачається напір у відводі та коліні?
11. Формула розрахунку втрати напору на місцеві опори. Розшифровка величин та їх розмірність.

12. Формула розрахунку втрати тиску на місцеві опори. Розшифровка величин та їх розмірність.
13. Від чого залежить втрата напору на місцевому опорі?
14. Що являє собою коефіцієнт місцевого опору?
15. Як експериментально знайти втрати напору на раптовому розширенні?
16. Як експериментально знайти втрати напору на раптовому звуженні?
17. Як експериментально знайти втрати напору на відводі?
18. Як експериментально знайти втрати напору на коліні?
19. Як знайти коефіцієнт місцевого опору відводу?
20. Як знайти коефіцієнт місцевого опору раптового розширення?
21. Як знайти коефіцієнт місцевого опору раптового звуження?
22. Знайти втрати напору на місцеві опори для умов, запропонованих викладачем.

Коефіцієнти місцевих опорів

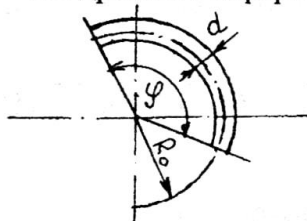
Вид опору	Значення коефіцієнта місцевого опору ξ
Вхід до труби 	З загостреними кінцями $\xi = 0,5$ З закругленими кінцями $\xi = 0,2$
Вихід із труби 	Розраховуючи Δp за формулою (2.209) цей опір для виходу з труби враховувати не потрібно $\xi = 1$
Діафрагма (отвір) з гострими краями у прямій трубі 	При $\frac{\delta}{d_0} = 0 \div 0,015$ втрата тиску $\Delta p = \xi \frac{\rho w_T^2}{2}$. Значення ξ визначається в таблиці А, d_0 – діаметр отвору діафрагми, м; δ – товщина діафрагми, м; w_0 – середня швидкість потоку в отворі, м/с; w_T – середня швидкість потоку в трубі, м/с; $m = \left(\frac{d_0}{D} \right)^2$, D – діаметр труби, м

m	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
ξ	7000	1670	730	400	245	165	117	86,0	65,5	51,5	40,0
m	0,24	0,26	0,28	0,30	0,34	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ξ	32,0	26,8	22,3	18,2	13,1	8,25	4,00	2,00	0,97	0,42	0,13

ДОДАТОК 1. Продовження.

Коефіцієнти місцевих опорів

Відвід круглого чи
квадратного перерізу



d – внутрішній діаметр
трубопроводу, м;

R_0 – радіус згину труби, м

Коефіцієнт опору $\xi = AB$ визначається з таблиць Б
та В

Таблиця Б

Кут ϕ , граду- си	20	30	45	60	90	110	130	150	180
A	0,31	0,45	0,6	0,78	1,0	1,13	1,20	1,28	1,40

Таблиця В

R_0/d	1,0	2,0	4,0	6,0	15	30	50
B	0,21	0,15	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03

Коліно (кутик) 90°
стандартний чавунний

Умовний
прохід, мм

12,5 2,5 37 50

ξ 2,2 2 1,6 1,1

Вентиль нормальний	Значення ξ при повному відкритті вентиля									
	D, мм									
	13	20	40	80	100	150	200	250	350	
	ξ	10,8	8,0	4,9	4,0	4,1	4,4	4,7	5,1	5,5

ДОДАТОК 1. Продовження.

Коефіцієнти місцевих опорів

Вентиль проточний	При $Re = \frac{wD}{\nu} \geq 3 \cdot 10^5$ значення ξ визначається з таблиці:									
	D, мм	25	38	50	65	76	100	150	200	250
	ξ	1,04	0,85	0,79	0,65	0,60	0,50	0,42	0,36	0,32
	При $Re < 3 \cdot 10^5$ коефіцієнт опору $\xi = \xi_1 K$. Значення ξ_1 визначається так само, як і при $Re \geq 3 \cdot 10^5$, а значення K дивись у таблиці:									

Re	50000	10000	20000	50000	100000	200000	300000
K	1,40	1,07	0,94	0,88	0,91	0,93	1

Кран проточний

Умовний прохід, мм	13	19	25	32	38	50
					і вище	
ξ	4	2	2	2	2	2

Засувка

Умовний прохід, мм	13–10	175–200	300
			і вище
ξ	0,5	0,25	0,15

ЛІТЕРАТУРА

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 750 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 575 с.