

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«Харківський політехнічний інститут»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ У ТРУБОПРОВОДАХ

за курсом

«Процеси та апарати хімічних виробництв» та «Гідрогазодинаміка, типові технологічні об'єкти і процеси виробництв»
для студентів хіміко-технологічних спеціальностей всіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничим
відділом університету,
протокол № 2 від 25.06.2020 р.

Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи «Визначення гідравлічних опорів у трубопроводах» за курсом «Процеси та апарати хімічних виробництв» та «Гідрогазодинаміка, типові технологічні об'єкти і процеси виробництв» для студентів хіміко-технологічних спеціальностей всіх форм навчання / Горбунов К.О., Рябова І.Б., Соловей В.М., Гапонова О.О., Биканов С.М. – Харків: НТУ «ХП», 2020. – 12 с.

Укладачі: К.О. Горбунов
І.Б. Рябова
В.М. Соловей
О.О. Гапонова
С.М. Биканов

Рецензент: Ведь В.Є.

Кафедра інтегрованих технологій, процесів і апаратів

ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ У ТРУБОПРОВОДАХ

Мета роботи – експериментальне визначення коефіцієнта тертя і коефіцієнтів місцевих опорів.

Основні теоретичні відомості

Розрахунок гідравлічного опору при течії реальних рідин трубопроводами є одним з основних питань гідродинаміки.

Визначення втрат напору (або втрат тиску) пов'язане з необхідністю розрахунку витрат енергії, які необхідні для компенсації цих втрат і переміщення рідин за допомогою насосів і компресорів.

Втрати напору в трубопроводі обумовлені гідравлічним опором. Розрізняють *опір тертя* і *місцеві опори*.

При течії реальної рідини по всій довжині трубопроводу діє опір тертя. На його величину впливає режим течії рідини і ступінь шорсткості труб.

Місцеві опори виникають при будь-яких змінах швидкості потоку за величиною чи напрямком. До них, наприклад, відносять: вхід потоку в трубу, вихід з неї, звуження чи розширення потоку, відводи, коліна, вентилі, засувки й т.п.

Втрати тиску на подолання опору тертя $\Delta p_{\text{тер}}$, Па, визначають із рівняння

$$\Delta p_{\text{тер}} = \zeta \frac{w^2 \rho}{2} = \lambda \frac{l}{d_e} \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (1)$$

де ζ – коефіцієнт опору тертя; λ – коефіцієнт тертя; l – довжина трубопроводу, м; d_e – еквівалентний діаметр трубопроводу, м; w – швидкість потоку, м/с; ρ – густина рідини, кг/м³.

Розрахунок втрати тиску на місцеві опори $\Delta p_{\text{м}}$, визначають із рівняння

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum_{i=1}^n \zeta_{\text{м}(i)} \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (2)$$

де $\zeta_{\text{м}(i)}$ – коефіцієнти місцевих опорів.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка змонтована на стенді і складається з вентилятора *1*, ротаметра *2*, вентилів *3*, *4*, *5*, *6*, що регулюють витрату повітря на одній з ділянок трубопроводу *7*, *8*, *9*, *10* (рис. 1).

Ділянка *7* – прямий трубопровід, на ділянці *8* повітря проходить змійовиком, на ділянці *9* послідовно підключені два вентиля, а на ділянці *10* у трубопроводі вмонтована діафрагма.

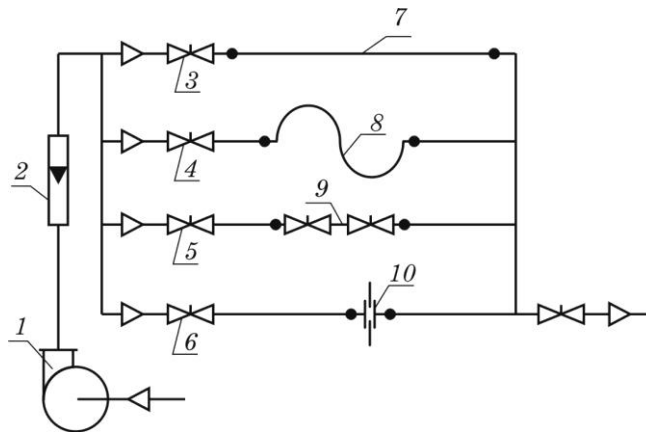


Рисунок 1 – Схема лабораторної установки

На стенді встановлені манометри, за допомогою яких вимірюється тиск повітря, на вході в одну з ділянок і на виході з неї.

Параметри трубопроводу:

- внутрішній діаметр трубопроводу $d = 0,017$ м;
- довжина прямої ділянки $l = 0,8$ м.

Методика виконання роботи

Приступати до роботи тільки з дозволу викладача.

1. Включити вентилятор *1*.
2. Встановити на ротаметрі *2* вентилем *3* задану витрату.
3. Замірити тиск на вході в ділянку *7* і на виході з неї.
4. Відкрити вентиль *4*.
5. Закрити вентиль *3*.
6. Встановити вентилем *4* на ротаметрі *2* задану витрату.
7. Замірити тиск на вході в ділянку *8* і на виході з неї.
8. Відкрити вентиль *5*.
9. Закрити вентиль *4*.

10. Встановити вентиляем 5 потрібну витрату повітря.
 11. Замірити тиск на вході в ділянку 9 і на виході з неї.
 12. Відкрити вентиль 6.
 13. Закрити вентиль 5.
 14. Встановити вентиляем 6 потрібну витрату.
 15. Замірити тиск на вході в ділянку 10 і на виході з неї.
 16. Повторити операції 1 і 15 при різних витратах повітря.
- Дослідні дані внести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні дані

Витрата повітря, V		Пряма ділянка			Змійовик			Вентилі			Діафрагма		
		$p_{\text{вх}}$	$p_{\text{вих}}$	Δp	$p_{\text{вх}}$	$p_{\text{вих}}$	Δp	$p_{\text{вх}}$	$p_{\text{вих}}$	Δp	$p_{\text{вх}}$	$p_{\text{вих}}$	Δp
Поділки ротаметра	$\text{м}^3/\text{с}$	$\text{кгс}/\text{м}^2$		Па	$\text{кгс}/\text{м}^2$		Па	$\text{кгс}/\text{м}^2$		Па	$\text{кгс}/\text{м}^2$		Па

Обробка дослідних даних

1. Розрахувати втрату тиску Δp відповідно для кожної ділянки трубопроводу при різних витратах повітря:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{вх}} - \Delta p_{\text{вих}}, \quad (3)$$

де $p_{\text{вх}}$, $p_{\text{вих}}$ – тиск на вході в ділянку, і на виході з ділянки, Па.

2. Розрахувати середню швидкість w , м/с, повітря при різних його витратах на кожній з ділянок за рівнянням

$$w = \frac{V}{S}, \quad (4)$$

де V – об'ємна витрата повітря, $\text{м}^3/\text{с}$; S – площа перерізу трубопроводу, м^2 .

3. Визначити густину повітря ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$, при температурі T і тиску p :

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 p}{T p_0} = \frac{M}{22,4} \frac{273 p}{(273 + t) p_0}, \quad (5)$$

де ρ_0 – густина повітря за нормальних умов, кг/м³; M – мольна маса повітря, кг/кмоль; T_0 – температура, що відповідає нормальним умовам, $T_0 = 273$ К; T – температура в приміщенні, К; $p_0 = 760$ мм.рт.ст. = $1,013 \cdot 10^5$ Па.

4. Розрахувати експериментальний коефіцієнт тертя λ_e на прямій ділянці трубопроводу за рівнянням (6)

$$\lambda_e = \frac{2 \Delta p d}{l w^2 \rho}, \quad (6)$$

де d – діаметр труби, $d = 0,017$ м; l – довжина труби, $l = 0,8$ м.

5. Визначити режим течії повітря в трубопроводі при кожній витраті повітря

$$\text{Re} = \frac{w d \rho}{\mu}, \quad (7)$$

де μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с.

6. Визначити розрахунковий коефіцієнт тертя λ_p :
– при значенні $\text{Re} < 2300$

$$\lambda_p = \frac{64}{\text{Re}}; \quad (8)$$

– для труб круглого перерізу при $2300 < \text{Re} < 10000$:
для гідравлічно-гладких труб

$$\lambda_p = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}; \quad (9)$$

– для гідравлічно-шорсткуватих труб по рис. 2

Необхідне значення відносної шорсткості визначити за формулою:

$$\varepsilon = \frac{d_e}{e}, \quad (10)$$

де ε – відносна шорсткість; d_e – еквівалентний діаметр, м; e – середнє значення шорсткості, м.

Для труб круглого перерізу $d_e = d$.

Середня висота виступів шорсткості стінок труб з різних матеріалів представлена в табл. 2.

Таблиця 2 – Середнє значення шорсткості стінок труб

Трубопроводи	e , мм
Труби сталеві суцільнотягнені і зварені при незначній корозії	0,2
Старі заіржавлені сталеві труби	0,67 і вище
Труби з покрівельної сталі прооліфлені	0,125
Чавунні труби водопровідні, що були у вжитку	1,4
Алюмінієві технічно гладкі труби	0,015–0,06
Чисті суцільнотягнені труби з латуні, міді й свинцю; скляні труби	0,0015–0,01
Бетонні труби; якісна поверхня із затіркою	0,3–0,8
Бетонні труби; груба (шорсткувата) поверхня	3–9
Нафтопроводи при середніх умовах експлуатації й паропроводи насиченої пари	0,2
Паропроводи, що працюють періодично	0,5
Повітроводи стисненого повітря від компресора	0,8
Конденсаторопроводи, що працюють періодично	1,0

7. Розрахувати коефіцієнти місцевих опорів за рівнянням (2).
8. Порівняти експериментальні і розрахункові коефіцієнти тертя.
9. Всі розраховані величини занести до табл. 3.
10. Побудувати графічну залежність $\lambda_e = f(\text{Re})$; $\lambda_p = f(\text{Re})$.

Таблиця 3 – Результати розрахунку

Швидкість повітря w , м/с.	Пряма ділянка			Змійовик	Вентилі	Діафрагма
	Re	λ_e	λ_p	ζ_m	ζ_m	ζ_m

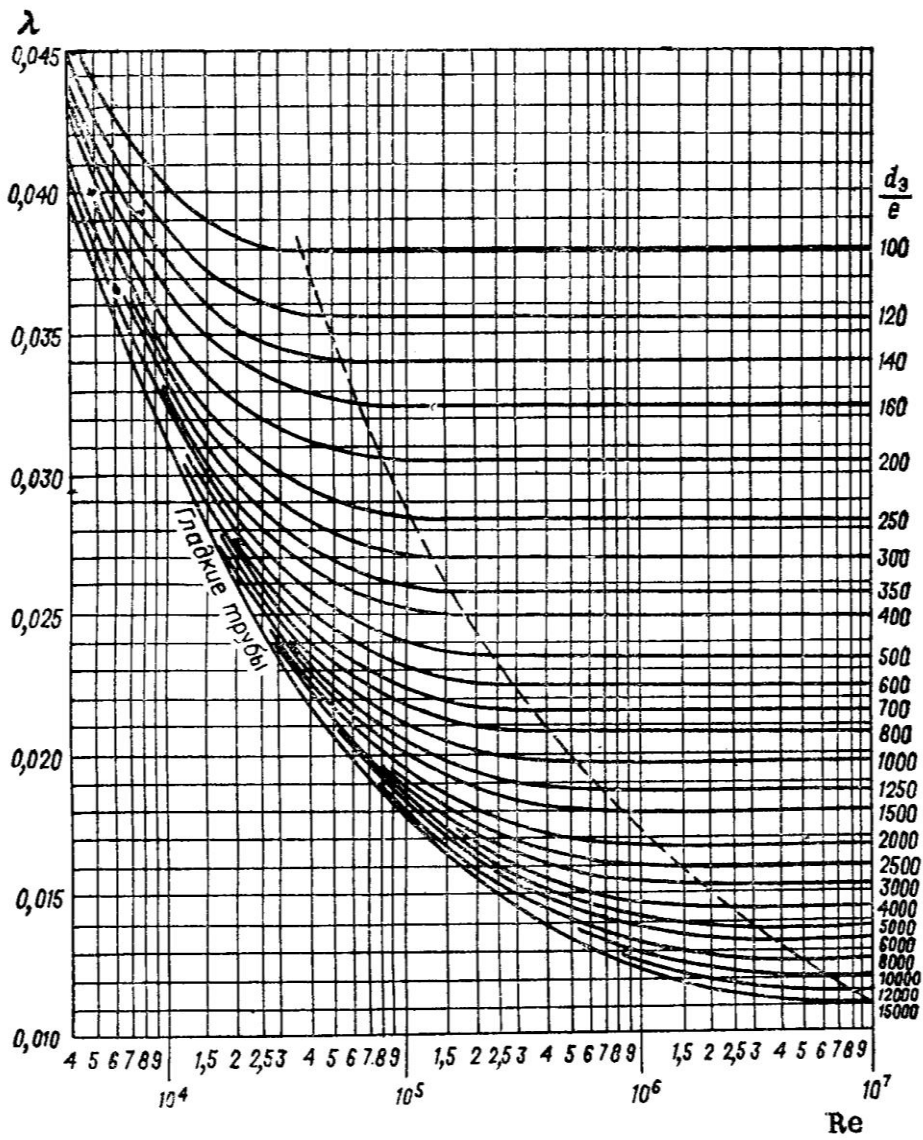


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта λ від критерію Re і ступеня шорсткості d_e/e (d_e – еквівалентний діаметр, м; e – середня висота виступів шорсткості на внутрішній поверхні стінки труби, м)

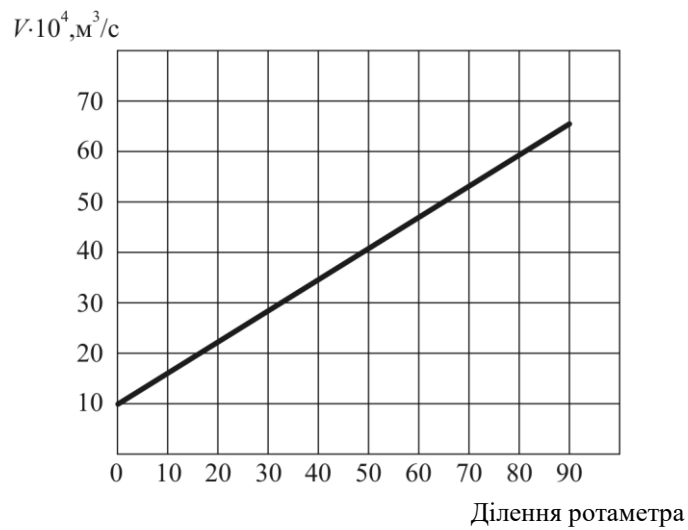


Рисунок 3 – Тарувальний графік ротаметра

Питання для самоконтролю

1. Чим обумовлені опори в трубопроводі при течії рідини?
2. Місцеві опори. Наведіть приклади.
3. Рівняння об'ємної витрати.
4. Режими течії рідини або газу трубопроводом.
5. Коефіцієнт опору тертя.
6. Коефіцієнт тертя, його залежність від режиму течії.
7. Втрата тиску (напору) на подолання опору тертя.
8. Втрата тиску (напору) на місцеві опори.
9. Що впливає на величину коефіцієнта тертя?
10. Абсолютна й відносна шорсткості.

Навчальне видання

Методичні вказівки для виконання лабораторної роботи «Визначення гідравлічних опорів у трубопроводах» за курсом «Процеси та апарати хімічних виробництв» та «Гідрогазодинаміка, типові технологічні об'єкти і процеси виробництв» для студентів хіміко-технологічних спеціальностей всіх форм навчання.

Українською мовою

Укладачі: ГОРБУНОВ Костянтин Олександрович
РЯБОВА Ірина Борисівна
СОЛОВЕЙ Валентин Миколайович
ГАПОНОВА Олена Олександрівна
БИКАНОВ Сергій Миколайович

Відповідальний за випуск Ю.Б. Данилов

Роботу рекомендував до друку Ведь В.Є.

В авторській редакції

План 2020 р.

Підписано до друку 20.09.2020. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Riso-друк Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 0,7. Обл.-вид. арк. 0,8. Наклад 100 прим. Зам. № 20/092020 Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП»
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друк ФОП Заночкин Д.Л., м. Харків, вул. Плеханівська, 16