

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 3
«ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТИ НАПОРУ НА ТЕРТЯ»

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 лабораторної роботи № 3 «Визначення втрати напору на тертя» 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. Гриднева, А.О. Ляшенко – Д.: ДВНЗ УДХТУ. – 2019. – 12 с.

Укладачі: Т.В. Гриднева, 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 лабораторної роботи № 3 «Визначення втрати напору на тертя» 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. № 5.

Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015.

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

Редакційно-видавничий відділ

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТИ НАПОРУ НА ТЕРТЯ

Мета роботи – визначити дослідним шляхом втрату напорів на тертя в прямолінійному відрізку труби та порівняти його з розрахунковою втратою напорів.

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Визначення втрати напорів або тиску є важливою практичною задачею, яка пов'язана з розрахунком енергії на переміщення рідини або газу за допомогою насосів, компресорів та інше.

Втрати напорів *виникають* при подоланні гідравлічного опору, що складається з *опору тертя та місцевих опорів*.

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

Місцевий опір виникає при будь-якій зміні швидкості потоку або напрямку руху. До місцевих опорів відносять: вхід та вихід потоку в трубопровід, раптове звуження та розширення, коліна, відводи, запірні та регулюючі пристрої і т.п.

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

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

Якщо помножити праву та ліву частину рівняння (1.1) на ρg , отримаємо рівняння з 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;

Втрати напорів для горизонтального трубопроводу однакового діаметра для 2 поперечних перерізів можна визначити як:

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} + h_{\text{вт}}, \quad (1.2)$$

звідки:

$$h_{em} = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} = h_1 - h_2, \quad (1.3)$$

де h_1, h_2 – показання п'єзометрів, м.

Якщо на прямому відрізку трубопроводу відсутні місцеві опори, тобто $h_{м.о.}=0$, то втрату напору слід розглядати як втрату напору тільки на подолання опору тертя:

$$h_{em} = h_{mp}. \quad (1.4)$$

Опір тертя (h_{mp}) виникає при русі реальної рідини по всій довжині трубопроводу і визначається за формулою

$$h_{mp} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (1.5)$$

де λ – коефіцієнт тертя;

ℓ – довжина трубопроводу, м;

d – діаметр трубопроводу, м;

ω – середня швидкість потоку, м/с.

Втрати тиску на тертя визначаються за формулою

$$\Delta p_{mp} = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (1.5a)$$

В загальному випадку коефіцієнт тертя залежить від режиму руху рідини (значення критерію Рейнольдса - Re) та абсолютної шорсткості трубопроводу (e), тобто

$$\lambda = f(Re, e). \quad (1.6)$$

Абсолютна шорсткість трубопроводу (e) визначається за табл. XII [2].

При *ламінарному русі* ($Re < 2320$) коефіцієнт тертя залежить від режиму руху рідини (Re) та не залежить від абсолютної шорсткості трубопроводу (e), тобто при $Re < 2320$

$$\lambda = f(Re), \lambda \neq f(e). \quad (1.7)$$

При *ламінарному русі* коефіцієнт тертя визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{B}{Re}, \quad (1.8)$$

де B – коефіцієнт, який залежить від форми трубопроводу.

Для трубопроводу круглого перерізу $B=64$, тоді коефіцієнт тертя в даному випадку дорівнює:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (1.8a)$$

При *перехідному русі* ($2320 < Re < 10000$) коефіцієнт тертя залежить від режиму руху рідини (Re) та не залежить від абсолютної шорсткості трубопроводу (e), тобто

$$\lambda = f(Re), \lambda \neq f(e). \quad (1.9)$$

При перехідному русі коефіцієнт тертя визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (1.10)$$

При *турбулентному русі* ($Re > 10000$) коефіцієнт тертя залежить від режиму руху рідини (Re) та абсолютної шорсткості трубопроводу (e), тобто

$$\lambda = f(Re, e). \quad (1.11)$$

При турбулентному русі коефіцієнт тертя визначається за формулою

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right], \quad (1.12)$$

де ε – відносна шорсткість стінок трубопроводу: $\varepsilon = e/d$.

При турбулентному русі коефіцієнт тертя можна визначити за рис. 3 або за рис. 1.5 [2].

При *автомодельному русі* коефіцієнт тертя не залежить від режиму руху рідини (Re) та залежить від абсолютної шорсткості трубопроводу (e), тобто

$$\lambda \neq f(Re), \lambda = f(e). \quad (1.13)$$

При автомодельному русі коефіцієнт тертя визначається за формулою

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} \right], \quad (1.14)$$

При автомодельному русі коефіцієнт тертя можна визначити за рис. 3 або за рис. 1.5 [2].

Розглянемо рух рідини по трубопроводу (рис. 1).

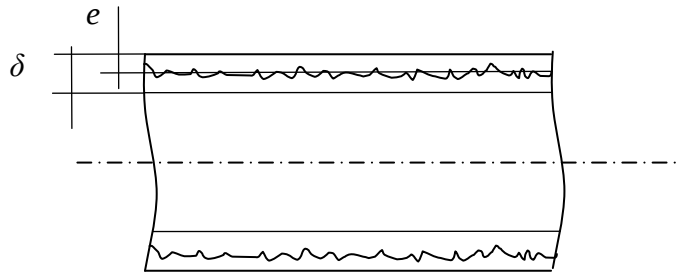


Рисунок 1 – Рух рідини по трубопроводу.

При русі рідини виникає ламінарний підшар товщиною δ .

Якщо при русі рідини по трубопроводу товщина ламінарного підшару δ більша абсолютної шорсткості e , то коефіцієнт тертя залежить від режиму руху рідини (Re) та не залежить від абсолютної шорсткості трубопроводу (e), тобто $\lambda=f(Re)$, $\lambda \neq f(e)$, що відповідає ламінарному та перехідному режиму руху, то такі трубопроводи називаються *гідравлічно гладкими*.

Якщо при русі рідини по трубопроводу товщина ламінарного підшару δ менша абсолютної шорсткості e , то коефіцієнт тертя залежить від режиму руху рідини (Re) та від абсолютної шорсткості трубопроводу (e), тобто $\lambda=f(Re, e)$, що відповідає турбулентному та автомодельному режиму руху, то такі трубопроводи називаються *гідравлічно шорсткими*.

2. ОПИС УСТАНОВКИ

Схема установки по визначенню втрати напору на тертя в прямолінійному відрізку труби наведена на рис. 2.

Установка складається з напірного баку 1, прямолінійного відрізка трубопроводу 3, на початку та в кінці якого встановлені п'єзометри 8, регулюючих вентилів 5, 6, 7, мірної ємності 4 та термометра 2.

3. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Відкрити вентиль 6 та закрити вентиль 7.
2. Перевірити нульові значення рівнів в п'єзометрах 8.
3. За допомогою вентиля 5 встановити подачу рідини в трубопровід, достатню для спостереження різниці рівнів у п'єзометрах 8.
4. При закритому вентилі 7 заміряти об'єм наповненої рідини у мірному баку 4 за певний проміжок часу.
5. Термометром 2 зафіксувати температуру води.
6. Положення вентиля 5 змінюють 3-4 рази, фіксуючи напори в п'єзометрах, об'єм наповненої рідини, час її наповнення та температуру.

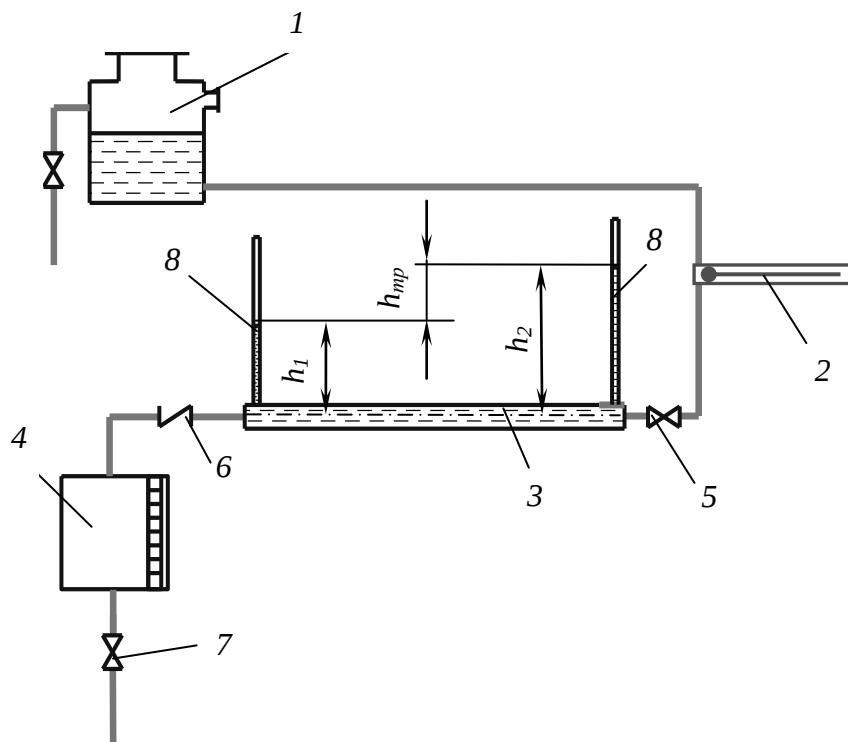


Рисунок 2. – Схема установки для визначення втрати напору на тертя:
1 – напірний бак; 2 – термометр; 3 – трубопровід; 4 – мірна ємність; 5, 6, 7 –
вентиль; 8 – п'єзометр.

4. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

1. Визначити дослідну втрату напору на тертя, (м):

$$h_{\text{д,тр}} = h_1 - h_2, \quad (4.1)$$

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

$$Q = V/\tau. \quad (4.2)$$

Визначити середню швидкість потоку, (м/с):

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{Q}{S}, \quad (4.3)$$

де S – площа поперечного перерізу, м^2 : $S = \frac{\pi d^2}{4}$,

d – діаметр трубопроводу, $d = 16 \text{ мм} = 0,016 \text{ м}$.

Таблиця 1.

Дослідні та розрахункові параметри

№ досліду	Дослідні параметри					Розрахункові параметри							
	Показання п'єзометрів		Об'єм рідини в мірному бачку $V, м^3$	Час наповнення рідини $\tau, с$	Температура води, $t, ^\circ C$	Дослідна втрата напору $h_{0,тр}, м$	Об'ємна витрата рідини $Q, м^3/с$	Площа перерізу трубопроводу $S, м^2$	Середня швидкість $\omega_{ср}, м/с$	Дослідний коефіцієнт тертя λ_0	Число Рейнольдса, Re	Розрахунковий коефіцієнт тертя λ_p	Розрахункова втрата напору, $h_{р,тр}, м$
	$h_1, м$	$h_2, м$											
1													
2													
3													

4. Розрахувати дослідний коефіцієнт тертя:

$$\lambda_{\partial} = \frac{2gh_{\partial, mp} \cdot d}{\ell \cdot \omega^2}, \quad (4.4)$$

де ℓ – довжина відрізка труби, $\ell = 1,9$ м.

5. Розрахувати критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_e \cdot \rho}{\mu}. \quad (4.5)$$

Фізичні властивості води див. додаток 1.

6. Залежно від режиму руху визначити розрахунковий коефіцієнт тертя (λ_p):

– при ламінарному русі:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (4.6)$$

– при перехідному русі:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (4.7)$$

– при турбулентному русі:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\ell g \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right], \quad (4.8)$$

де ε – відносна шорсткість стінок трубопроводу: $\varepsilon = e/d$.

e – абсолютна шорсткість трубопроводу, м

Абсолютна шорсткість трубопроводу (e) визначається за табл. XII [2].

При турбулентному русі коефіцієнт тертя можна визначити за рис. 3 або за рис. 1.5 [2].

– при автомодельному русі:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\ell g \left[\frac{\varepsilon}{3,7} \right], \quad (4.9)$$

При автомодельному русі коефіцієнт тертя можна визначити за рис. 3 або за рис. 1.5 [2].

6. Визначити розрахункову втрату напору, (м):

$$h_{p,mp} = \lambda_p \frac{\ell}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g} \quad (4.10)$$

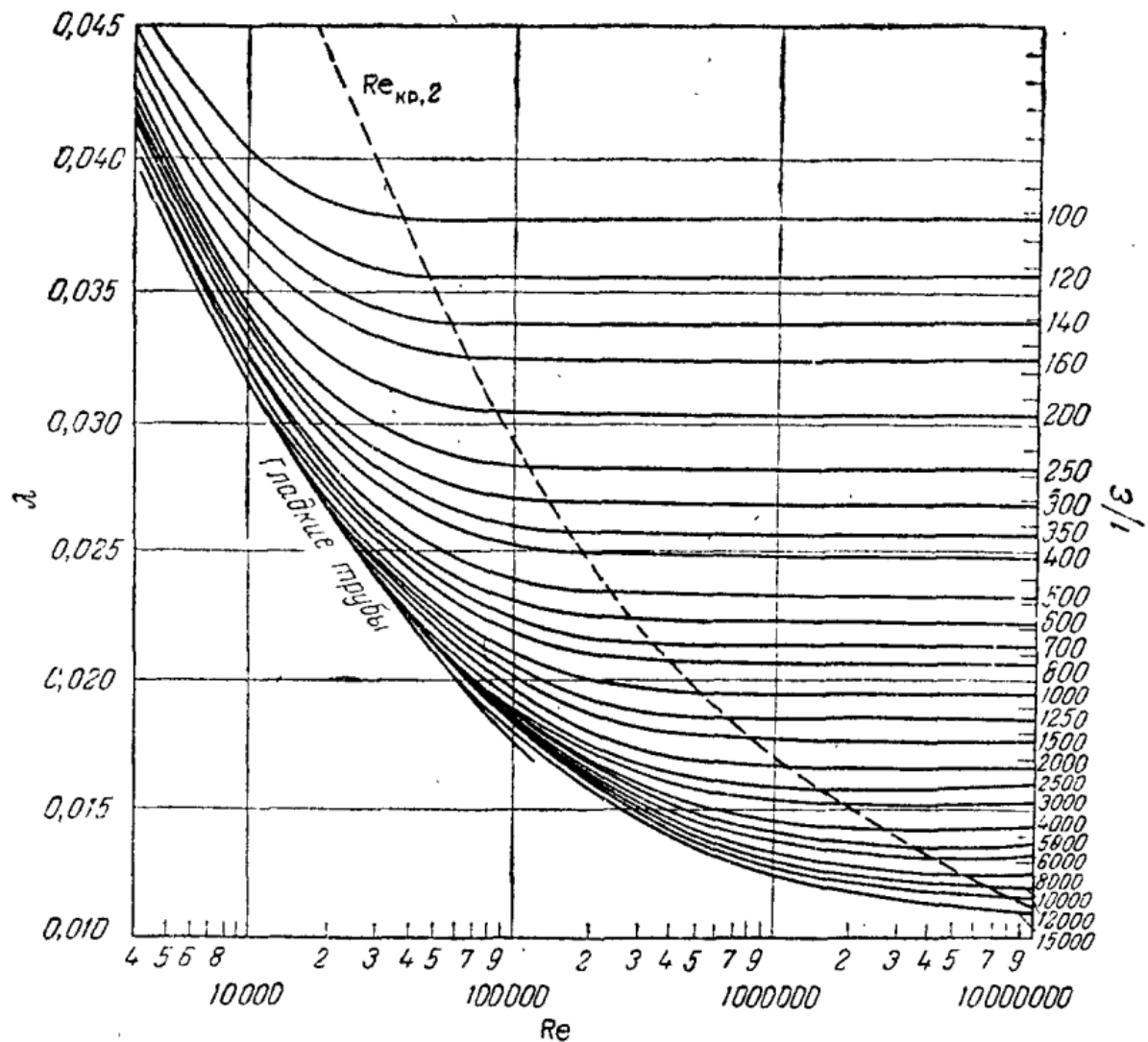


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта тертя (λ) від критерію Рейнольдса (Re) при різних відносних шорсткостях ($1/\epsilon = d/e$).

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. З якою метою розраховують втрату напору?
3. За рахунок чого виникають втрати напору?
4. За рахунок чого виникають втрати напору на тертя?
5. За рахунок чого виникають втрати напору на місцеві опори?
6. Формула розрахунку втраченого напору. Розшифровка величин та їх розмірність.
7. Формула розрахунку гідравлічного опору. Розшифровка величин та їх розмірність.
8. Формула розрахунку втрати напору на тертя. Розшифровка величин та їх розмірність.
9. Формула розрахунку втрати тиску на тертя. Розшифровка величин та їх розмірність.
10. Від яких параметрів залежить коефіцієнт тертя в загальному вигляді?
11. Від яких параметрів залежить коефіцієнт тертя при ламінарному русі?
12. Формула розрахунку коефіцієнта тертя при ламінарному русі рідини. Розшифровка величин та їх розмірність.
13. Від яких параметрів залежить коефіцієнт тертя при перехідному русі?
14. Формула розрахунку коефіцієнта тертя при перехідному русі рідини. Розшифровка величин та їх розмірність.
15. Від яких параметрів залежить коефіцієнт тертя при турбулентному русі?
16. Формула розрахунку коефіцієнта тертя при турбулентному русі рідини. Розшифровка величин та їх розмірність.
17. Від яких параметрів залежить коефіцієнт тертя при автомодельному русі?
18. Формула розрахунку коефіцієнта тертя при автомодельному русі рідини. Розшифровка величин та їх розмірність.
19. Пояснити, що таке гідравлічно гладкий трубопровід.
20. Пояснити, що таке гідравлічно шорсткий трубопровід.
21. Яким чином можна знизити втрати напору на тертя?
22. Знайти втрати напору на тертя для умов, запропонованих викладачем.

Властивості води

t , °C	ρ , кг/м ³	i , кДж/кг	c , кДж/кг·K	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/м·K	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, K ⁻¹	$\sigma \cdot 10^4$, кг/с ²	Pr
0	1000	0	4,23	55,1	1790	1,79	-0,63	756	13,7
10	1000	41,9	4,19	57,5	1310	1,31	0,70	762	9,52
20	998	83,8	4,19	59,9	1000	1,01	1,82	727	7,02
30	996	126	4,18	61,8	804	0,81	3,21	712	5,42
40	992	168	4,18	63,4	657	0,66	3,87	697	4,31
50	988	210	4,18	64,8	549	0,556	4,49	677	3,54
60	983	251	4,18	65,9	470	0,478	5,11	662	2,98
70	978	293	4,19	66,8	406	0,415	5,70	643	2,55
80	972	335	4,19	67,5	355	0,365	6,32	626	2,21
90	965	377	4,19	68,0	315	0,326	6,95	607	1,95
100	958	419	4,23	68,3	282	0,295	7,5	589	1,75

ЛІТЕРАТУРА

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 197 – 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.