

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 12  
«ВИВЧЕННЯ РОБОТИ АДСОРБЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ  
ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ» З КУРСУ “ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ ТА  
АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ” ДЛЯ СТУДЕНТІВ II-IV  
КУРСІВ УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ТА ФОРМ НАВЧАННЯ**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ  
УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 12  
«ВИВЧЕННЯ РОБОТИ АДСОРБЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ  
ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ» З КУРСУ “ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ ТА  
АПАРАТИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ” ДЛЯ СТУДЕНТІВ II-IV  
КУРСІВ УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ТА ФОРМ НАВЧАННЯ**

**Затверджено на засіданні  
кафедри процеси та апарати  
хімічної технології  
Протокол № \_ від \_\_**

**Дніпропетровськ ДВНЗ УДХТУ 2012**

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 12 «Вивчення роботи адсорбційної установки періодичної дії» з курсу «Основні процеси та апарати хімічної технології» для студентів II-IV курсів усіх спеціальностей та форм навчання / Укл.: П.В. Рябік, Т.В. Гриднєва, А.О. Біла. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. –с.

Укладачі: П.В. Рябік, кандидат технічних наук  
Т.В. Гриднєва  
А.О. Біла

Відповідальний за випуск П.Г. Сорока, доктор технічних наук

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи за темою «Вивчення роботи адсорбційної установки періодичної дії» для студентів II-IV курсів усіх спеціальностей та форм навчання

Укладачі: РЯБІК Павло Васильович  
ГРИДНЄВА Тетяна Василівна  
БІЛА Анна Олександрівна

Редактор Л.М. Тонкошкур  
Коректор Л.Я. Гоцуцова

Підписано до друку \_\_\_\_\_. Формат 60×84 1/16. Папір ксероксн. Друк різнограф. Умов.-друк. арк. \_\_\_\_\_. Тираж 100 прим. Замовлення № \_\_\_\_\_.  
Свідоцтво ДК № 303 від 27.12.2000.  
ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпропетровськ-5, просп. Гагаріна, 8.  
Видавничо-поліграфічний комплекс ІнКомЦентру

**Лабораторна робота №12**  
**ВИВЧЕННЯ РОБОТИ АДСОРБЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ**  
**ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ**  
**1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Адсорбція – це процес вибіркового поглинання одного або кількох компонентів із газової або рідинної суміші поверхню твердого поглинача.

Твердий поглинач називають адсорбентом, а речовина, яка поглинається із газової або рідинної суміші – адсорбатом чи адсорбтивом.

В якості адсорбентів використовують пористі тверді речовини з великою питомою поверхню, яка відноситься до одиниці маси речовини.

У промисловості в якості поглиначів використовують активне вугілля та мінеральні адсорбенти (силікагелі, цеоліти та ін.), а також синтетичні іонообмінні смоли (іоніти).

Найбільш поширеними адсорбентами є активоване вугілля і гель кремнієвої кислоти (силікагель).

Поверхня 1 г вугілля коливається від 200 до 1000 м<sup>2</sup>, силікагелю до 500 м<sup>2</sup> і більше. Адсорбенти використовуються у вигляді зерен розміром 2–8 мм або у пиловидному стані (розмір частинок 50 – 200 мкм).

Основними характеристиками твердого поглинача розглянутих шарів такого матеріалу є питома поверхня і вільний об'єм (пористість).

Питомою поверхню називається поверхня частинок матеріалу, яка припадає на одиницю об'єму, який займає шар (м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>).

Вільним об'ємом називають відношення порожнього простору між частинками до об'єму, який займає шар.

Адсорбенти відрізняються вельми високою пористістю, внаслідок чого їх поверхня капілярних каналів дуже велика.

Характер процесу адсорбції визначається розмірами пор.

Капілярні пори можуть бути умовно поділені на макропори (більше, ніж  $2 \cdot 10^{-4}$ ), перехідні пори ( $6 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-4}$ ), мікропори ( $2 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$  мм).

Для вибору твердого поглинача необхідно враховувати, як розмір пор поглинача, так і ступінь активності поглинання речовини.

Питома поверхня макропор відносно дуже мала, тому на їхніх стінках адсорбується незначна кількість речовини. Макропори відіграють роль лише транспортних каналів для молекул, які адсорбуються.

На поверхні перехідних пор, розміри яких звичайно значно перебільшують розміри молекул, що адсорбуються, у процесі адсорбції утворюються шари поглинутої речовини. Можливо утворення шарів товщиною в одну молекулу (мономолекулярна адсорбція) і в декілька шарів (полі молекулярна адсорбція). Розміри мікропор наближаються до розмірів молекул, що адсорбуються, і адсорбція у мікропорах призводить до заповнення їх об'єму. Звичайно мікропори перетинаються з макро- і перехідними порами, що скорочує шлях, який проходять молекули, що адсорбуються, і призводить до прискорення адсорбції.

Процеси адсорбції є виборчими і зворотними. Це значить, що кожний поглинач має здатність поглинати лише певні речовини і не поглинає (або поглинає лише в незначній кількості) інші речовини, які містяться у газовій суміші або розчині. Завдяки їх зворотності стає можливим виділення поглинутих речовин з адсорбенту або проведення процесу десорбції - процесу зворотного адсорбції.

Адсорбція використовується, головним чином, при невеликих концентраціях речовини, яка поглинається у початковій суміші, коли потрібно досягти практично повного витягу адсорбтиву.

Розрізняють фізичну і хімічну адсорбцію.

Фізична адсорбція зумовлена взаємним притяганням молекул адсорбату і адсорбенту під дією сил Ван-дер-Ваальса і не супроводжується хімічною взаємодією адсорбованої речовини з поглиначем.

При хімічній адсорбції або хемосорбції, у результаті хімічної реакції між молекулами поглинутої речовини і поверхневими молекулами поглинача виникає хімічний зв'язок.

Адсорбенти характеризуються своєю поглинаючою, або адсорбційною, властивістю, яка визначається концентрацією адсорбтиву в одиниці маси чи об'єму адсорбенту.

Адсорбційна властивість називається також активністю адсорбенту.

Основними факторами, які впливають на процес адсорбції є: властивості адсорбенту, температура, тиск, властивості речовин, що поглинаються, і склад фази із якої вони адсорбуються.

При протіканні процесу адсорбції концентрація адсорбтиву в адсорбенті безперервно збільшується та досягає найбільшого значення, можливого при даних умовах, і система досягає рівноваги.

Рівноважна активність (рівноважна статична активність) – це максимально можлива за даних умов поглинальна здатність адсорбенту. Цей граничний вміст адсорбтиву в 1 кг (1 см<sup>3</sup>) адсорбенту, відповідний повному насиченню адсорбенту речовиною, що поглинається, називається статичною активністю адсорбенту. Статична активність залежить від структури адсорбенту, від природи речовини, що адсорбується, його парціального тиску в газовій фазі (концентрації), від температури.

Динамічна активність шару адсорбенту ( $X_d$ ) – це кількість речовини, поглинутої одиницею маси (або об'єму) адсорбенту за час від початку адсорбції до моменту “проскоку”.

Фронт адсорбції – це розподіл адсорбтиву по висоті шару адсорбенту.

Проскок – це проміжок часу на фронтальній (лобовій) ділянці шару адсорбенту внаслідок різкого падіння рухомої сили; поглинання адсорбтиву практично припиняється, і потік через цю ділянку “просковує” без зміни концентрації.

При постійній температурі статична величина адсорбції залежить тільки від парціального тиску або концентрації адсорбтиву:

$$\bar{X}^* = f(\bar{Y})_T \quad (1.1)$$

де  $\bar{X}^*$  – відносна концентрація адсорбату в адсорбенті, рівноважна з концентрацією адсорбтиву у газовій або рідинній фазі, вимірюється у кг адсорбату/ кг адсорбенту, або кг адсорбату/ м<sup>3</sup> адсорбенту;

$\bar{Y}$  – відносна концентрація адсорбтиву у фазі, із якої адсорбується речовина, кг адсорбтиву/ кг носія, або кг адсорбтиву/ м<sup>3</sup> носія.

Концентрація речовини може бути замінена її парціальним тиском  $P$  у парогазовій суміші. Тоді  $\bar{X}^* = f(P)$ .

Цю залежність, що є однією з головних характеристик адсорбційної здатності адсорбентів, називають ізотермою адсорбції.

Залежно від пористої структури адсорбенту та властивості адсорбтиву форми ізотерм адсорбції не однакові і характеризуються різними рівняннями (наприклад, рівняння ізотерм адсорбції Дубиніна - Радускевича, Фрейдліха, Ленгмюра, Генрі та ін.).

У даній роботі вивчається процес адсорбції ацетону із його суміші з повітрям в адсорбційній установці з нерухомим шаром адсорбенту.

У адсорбері масова витрата адсорбтиву  $M$ , що переходить із газової фази у шар адсорбенту, визначається за рівнянням матеріального балансу:

$$M = G(\bar{Y}_n - \bar{Y}_k) \cdot \tau_s = L(\bar{X}_k - \bar{X}_n) \quad (1.2)$$

і масопередачі:

$$M = K_{vY} \cdot V_{in} \cdot \Delta \bar{Y}_{сер} \cdot \tau \quad (1.3)$$

де  $G$  – масова витрата повітря, кг/с;

$L$  – маса адсорбенту, кг;

$\bar{Y}_n, \bar{Y}_\kappa$  – концентрація адсорбтиву у газовому потоці на вході у адсорбер і на виході з нього, кг/кг або кг/м<sup>3</sup>;  
 $\bar{X}_\kappa, \bar{X}_n$  – концентрація адсорбату в адсорбенті на початку, та в кінці процесу адсорбції, кг/ м<sup>3</sup> сорбенту;  
 $K_{YV}$  – об'ємний коефіцієнт масопередачі, с<sup>-1</sup>;  
 $\Delta\bar{Y}_{сер}$  – середня рушійна сила процесу, кг/м<sup>3</sup> або кг/кг;  
 $\tau$  – час захисної дії адсорбенту, с;  
 $V_{ш}$  – об'єм шару адсорбенту, м<sup>3</sup>

В зв'язку з тим, що відсутні надійні залежності для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі у твердій фазі  $\beta_{XY}$ , більшість розрахункові залежностей для  $K_{YV}$  одержано за умов, коли швидкість внутрішньої масовіддачі така велика, що відношенням  $m/\beta_{XY}$  можна знехтувати і прийняти  $K_{YV} = \beta_{YV}$ , рівняння масопередачі матиме вигляд:

$$M = \beta_{YV} \cdot V_{ш} \cdot \Delta\bar{Y}_{сер} \cdot \tau \quad (1.4)$$

Для визначення  $\beta_{YV}$ , на значення якого впливає гідродинамічний режим руху потоку газу (рідини), можуть бути використані такі розрахункові рівняння:

при  $Re = 2-30$

$$Nu' = 0,725 \cdot Re^{0,47} \cdot (Pr')^{0,33} \quad (1.5)$$

При  $Re > 30$

$$Nu' = 0,395 \cdot Re^{0,64} \cdot (Pr')^{0,33} \quad (1.6)$$

де

$$Nu' = \frac{\beta_{YV} \cdot d_{ek}^2}{D_y} \text{ – дифузійний критерій Нусельта;} \quad (1.7)$$

$$Re = \frac{4\omega_0}{\alpha \cdot v_y} \text{ – критерій Ренольдса для зернистого шару;} \quad (1.8)$$

$$Pr' = \frac{V_0}{D_y} \text{ – дифузійний критерій Прандтля} \quad (1.9)$$

Процес адсорбції у динамічних умовах характеризується часом від початку пропускання газової суміші через шар адсорбенту до моменту появи проскоку речовини за шаром адсорбенту. Цей проміжок часу визначається за рівнянням Шилова [1] і називається часом захисної дії шару адсорбенту:

$$\tau_3 = K \cdot H - \tau_0 \quad (1.10)$$

де  $K$  – коефіцієнт захисної дії шару адсорбенту, с/м;

$H$  – висота шару адсорбенту, м;

- втрата часу захисної дії шару адсорбенту, зумовлена тим, що формування фронту адсорбції відбувається не раптово, с.

Коефіцієнт захисної дії шару адсорбенту можна визначити за рівнянням [2]:

$$K = \frac{X_d}{\omega_\phi \cdot \bar{Y}_n}, \quad (1.11)$$

де  $X_d$  – динамічна активність шару адсорбенту, кг ацетону/ м<sup>3</sup> сорбенту

$\bar{Y}_n$ , –початкова концентрація речовини, що адсорбується в ацетано-повітряній суміші, кг ацетону/ м<sup>3</sup> сорбенту;  
 $\omega_{\phi}$ – фіктивна швидкість парогазової суміші, м/с.

## 2. МЕТА РОБОТИ

Визначити час захисної дії шару адсорбенту при поглинанні пари ацетону з повітря, дослідним та розрахунковим шляхами, коефіцієнт масовіддачі та динамічну і статичну активність.

## 3. ОПИС УСТАНОВКИ

За допомогою газодувки 8 (рис 3.1) одна частина повітряного потоку надходить у змішувач 5, а друга - у барботер ацетону 7, із якого при відкритому вентилі 13 надходить у змішувач 5. Суміш пари ацетону і повітря, витрата якої визначається реометром 4, із змішувача направляється в одну із адсорбційних колонок 1, 2 або 3. Із адсорбційної колонки газовий потік проходить через аналізатор 9 і виходить в атмосферу. Ацетон у барботер подається із ємкості 6 через вентиль 12.

У роботі використовується активне вугілля марки БАУ або АГ у вигляді гранул.

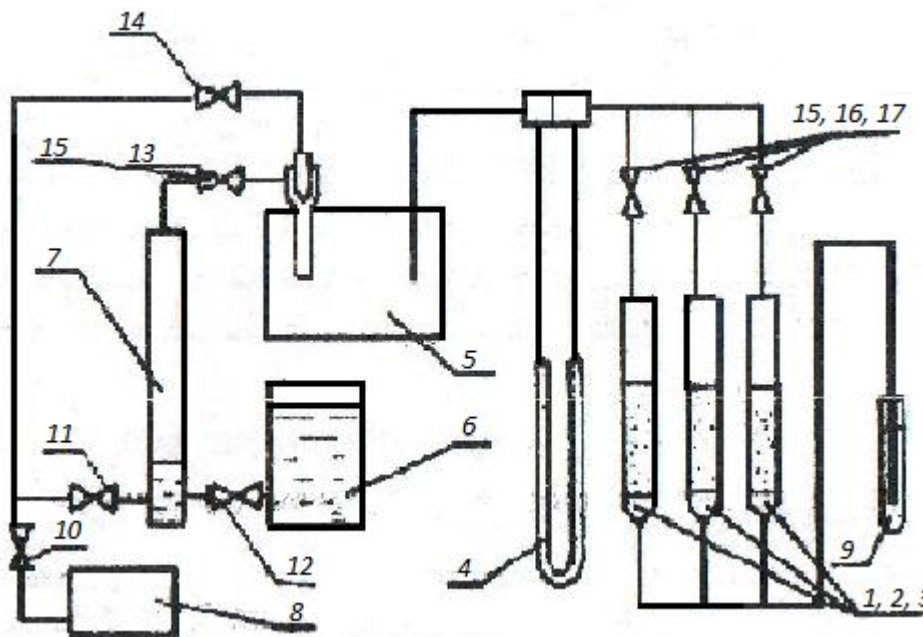


Рис. 3.1. Схема адсорбційної установки періодичної дії: 1,2,3 - адсорбційна колона; 4 - реометр; 5 - змішувач, 6 - ємкість; 7 - барботер; 8 - газодувка; 9 - аналізатор; 10, 13, 14, 15, 16, 17 – вентиль

## 4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. В одну із адсорбційних колонок засипати пробу вугілля за висотою, вказаною викладачем із точністю 0,1 см.
2. Заповнити барботер 7 ацетоном до нульової позначки із ємкості 6, відкривши вентиль 12.
3. При закритих вентилях 11, 13 відкрити вентиль, який працює на колонці 1,2 або 3 і за реометром 4 витрату повітря.
4. Відкрити вентиль 13, а потім вентиль 11 і одночасно ввімкнути секундомір.
5. Момент «проскоку» - час захисної дії шару (поява пари ацетону за шаром адсорбенту) - визначити за зміною кольору індикатора в аналізаторі 9 (для ацетону як індикатор застосовується 2,4 -динітрофенілгідразин).
6. Після закінчення випробовування вентилем 11 відімкнути барботер 7 і зупинити подачу повітря, заклавши вентиль 10.
7. Заміряти рівень ацетону у барботері.

8. Повторити п. 3-7 для адсорбційних колонок 2, 3 із різною висотою шару вугілля.  
9. Результати дослідів занести до табл. 4.1

Таблиця 4.1

## Дослідні дані

| Номер адсорбційної колони | Час захисної дії $\tau$ , с | Висота нерухомого шару $H$ , м | Витрата паро - повітряної суміші $Q$ , м <sup>3</sup> /с | Зміни рівня ацетону у барботері $\Delta h$ , м |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|--|
| 1                         |                             |                                |  |  |
| 2                         |                             |                                |  |  |
| 3                         |                             |                                |  |  |

Таблиця 4.2

## Характеристики установки, адсорбтиву та адсорбенту

| Найменування  | Характеристика                                 |
|---|--|
| 1   | 2  |
| Діаметр адсорбційної колони, м  | $d_{ad} = 2,6 \cdot 10^{-2}$                   |
| Площа поперечного перерізу адсорбційної колонки, м <sup>2</sup>                     | $f_{ad} = 0,785 d_{ad}^2 = 5,31 \cdot 10^{-4}$ |
| Площа поперечного перерізу колонки, зайнятої тільки зернами вугілля, м <sup>2</sup> | $f = f_{ad} \cdot (1 - E)$                     |
| Діаметр барботера, м  | $d_b = 2,8 \cdot 10^{-2}$                      |
| Вільний поперечний переріз барботера, м <sup>2</sup>                                | $f = 0,785 \cdot d_b^2 = 6,15 \cdot 10^{-4}$   |
| Середній діаметр зерен активного вугілля, м   | $d_z = 2 \cdot 10^{-3}$                        |
| Насипна густина вугілля, кг/м <sup>3</sup>  | $c = 430$                                      |
| Густина пароповітряної суміші, кг/м <sup>3</sup>                                    | $\rho_z = 1,22$                                |
| Порізність шару адсорбенту, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>                          | $E = 0,465$                                    |
| Коефіцієнт дифузії ацетону в повітрі при $t = 20^\circ\text{C}$ , м <sup>2</sup> /с | $D = 1,235 \cdot 10^{-5}$                      |
| Густина ацетону, кг/м <sup>3</sup>  | $\rho_p = 810$                                 |
| Дифузійний критерій Прандля   | $\text{Pr}^{0,33} = 1,06$                      |
| Кінематичний коефіцієнт в'язкості газової фази за повітрям, м <sup>2</sup> /с       | $\nu_{20} = 0,15 \cdot 10^{-4}$                |
| Фактор форми зерна вугілля  | $\Phi = 0,8$                                   |

## 5. ОБРОБКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

1. Маса адсорбованої речовини, кг

$$M = f_b \cdot \Delta h_p \cdot \rho_p \quad (5.1)$$

де  $f_b$  – вільний поперечний переріз барботера, м<sup>2</sup>;

$\rho_p$  – густина ацетону, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta h$  – зміна рівня ацетону у барботері, м.

2. Динамічна активність адсорбенту, кг/м<sup>3</sup> сорбенту



$$X_d = \frac{M}{V_{ш}} \quad (5.2)$$

де  $M$  – маса адсорбованої речовини, кг;

$V_{ш}$  – об'єм нерухомого шару,  $m^3$

3. Об'єм нерухомого шару,  $m^3$

$$V_{ш} = H \cdot f_{ад} \quad (5.3)$$

4. Статична активність,  $кг/м^3$

$$X_k^* = \frac{X_d}{0,8 \div 0,9} \quad (5.4)$$

5. Початкова концентрація ацетону у пароповітряній суміші,  $кг/м^3$  сорбенту

$$\bar{Y}_n = \frac{M}{Q \cdot \tau_3} \quad (5.5)$$

де  $Q$  - об'ємна витрата пароповітряної суміші,  $m^3 / c$

6.  $\bar{Y}_k$ , приймаємо рівним  $0,05 \bar{Y}_n$ .

7. Швидкість парогазової суміші,  $м/с$

$$\omega_{\phi} = \frac{Q}{f_{ад}} \quad (5.6)$$

8. Коефіцієнт захисної дії шару адсорбента,  $с/м$ , ф. (1.11).

9. Втрата часу захисної дії шару адсорбента,  $\tau_0$ , ф. (1.10).

10. Розрахунковий час захисної дії визначаємо із рівняння матеріального балансу (1.2):

$$\tau_{з.розр} = \frac{M}{G(\bar{Y}_n - \bar{Y}_k)} \quad (5.7)$$

де  $G$  - масова витрата пароповітряної суміші,  $кг/с$

$$G = Q \cdot \rho_z \quad (5.8)$$

11. Критерій Рейнольдса, ф. (1.8).

12. Дифузійний критерій Нусельта ф. (1.5) або ф. (1.6).

13. Коефіцієнт масовіддачі  $\beta_{YV}$ ,  $м/с$ , ф. (1.7).

## 6. ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт про лабораторну роботу повинен містити: її назву, мету виконання, опис і схему установки, порядок виконання роботи, таблиці дослідних даних, обробку дослідних даних, висновки.

## 7. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Мета виконання лабораторної роботи
2. Що називається процесом адсорбції?
3. Що використовується як адсорбенти?
4. Які властивості повинні мати адсорбенти?
5. Застосування адсорбції.
6. Рівновага в процесі адсорбції, «ізотерма адсорбції».
7. Порядок побудови ізотерми адсорбції.
8. Що називається статичною та динамічною активностями адсорбенту?
9. Поняття фронту адсорбції.
10. Визначення поняття часу захисної дії шару адсорбенту.

11.Рівняння Шилова.

12.Що таке коефіцієнт захисної дії шару?

13.Рівняння масопередачі періодичної адсорбції. Значення величин, що входять до рівняння.

14.Вплив температури і тиску на процес адсорбції.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973. - 750 с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по курсовому проектированию. Под ред. Ю.И. Дытнерского. - М.: Химия, 1991.-496 с.
3. Павлов К.Ф., Романов П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1987. -575 с.