

661
Т33

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ НЕОРГАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

За редакцією д. т. н., проф. О. Я. Лобойка
та д. т. н., проф. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО



Підручник

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

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ
ТЕХНОЛОГІ НЕОРГАНІЧНИХ
ВИРОБНИЦТВ**

Підручник
для студентів хіміко-технологічних вузів та факультетів

*За редакцією д. т. н., проф. О. Я. Лобойка
та д. т. н., проф. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО*

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ»

Харків
Підручник НТУ «ХПІ»
2017

УДК 66:546 (075.8)

ББК 35.20я73

Т-33

Авторський колектив :

*О. Я. Лобойко, Г. І. Гринь, Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ,
М. В. Кошовець, С. Б. Ліщина*

Рецензенти :

*М. Д. Волошин, д-р техн. наук, проф., Дніпровський
державний технічний університет;*

*Б. І. Байрачний, д-р техн. наук, проф., Національний технічний
університет «Харківський політехнічний інститут»;*

*В. Д. Калугін, д-р хім. наук, проф., Національний університет
цивільного захисту України.*

Гриф надано вченою радою Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
(протокол № 6 від 07.07.2017 р.)

Теоретичні основи технології неорганічних виробництв : підруч. /

Т-33 **О. Я. Лобойко, Г. І. Гринь, Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ та ін. ; за ред.
О. Я. Лобойка та Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. – Харків : Вид-во «Підручник
НТУ «ХПІ»», 2017.– 152 с.**

ISBN 978-617-687-088-3

У підручнику викладено теоретичні основи хімічних технологій неорганічних речовин, основні розділи хімічної і технічної термодинаміки, енергетичні і теплові закони, теплоти хімічних і фізичних перетворень, а також направленість хімічних реакцій. Проведено розрахунок рівноважного виходу продукту реакції і сформульовано закон діючих мас. Розглянуто кінетику гомогенних і гетерогенних хімічних реакцій в тому числі дифузійну, вплив адсорбції на швидкість каталітичних реакцій.

Призначено для студентів, що навчаються за спеціальністю хімічна технологія та інженерія.

Лл. 22. Табл. 2. Бібліограф.: 7 назв.

**УДК 66:546 (075.8)
ББК 35.20я73**

ISBN 978-617-687-088-3

© Авторський колектив, 2017
© Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ»», 2017

ЗМІСТ

Передмова.....	7
Глава 1. Загальні положення	
1.1. Предмет, метод і завдання термодинаміки	9
1.2. Термодинамічна система, основні поняття та її параметри, одиниці вимірювання	11
1.2.1. Тиск.....	15
1.2.2. Температура.....	17
1.3. Теплоота, робота і енергія	19
1.3.1. Ентальпія.....	20
1.4. Розрахунок ентальпії (H) при нагріванні і зміні агрегатного стану речовини.....	22
1.5. Термодинаміка ідеальних і реальних газових систем	24
Глава 2. Теплові і енергетичні закони	
2.1. Зміст першого закону термодинаміки	30
2.2. Термодинамічні процеси	35
2.2.1. Робота і теплоота ізотермічного процесу.....	35
2.2.2. Ізобаричний процес і його робота.....	37
2.2.3. Робота і теплоота ізохоричного процесу.....	40
2.2.4. Адіабатичний (політропічний) процес і його робота.....	42
2.3. Теплоємність.....	47
2.3.1. Зв'язок між теплоотою при $P = \text{const}$ (Q_p) і $V = \text{const}$ (Q_v).....	55

Глава 3. Теплота хімічних і фізичних перетворень

3.1. Закон Гесса.....	56
3.2. Розрахунок теплового ефекту реакції за теплотами згоряння (окиснення) речовини	59
3.3. Розрахунок теплового ефекту реакції з використанням значень енергії зв'язку елементів у сполуці.....	60
3.4. Закон Кірхгофа	61
3.5. Теплота пароутворення (випаровування)	63
3.6. Теплота розчинення	66
3.7. Теплота згоряння (окиснення) і температура горіння палива	66
3.8. Розрахунок теоретичних витрат повітря, що подається на згоряння одиниці маси палива (кг/кг пального)	69
3.9. Цикл Карно	70
3.10. Теорема Карно-Клаузіуса і її аналіз	71

Глава 4. Направленість хімічних реакцій

4.1. Другий закон термодинаміки. Ентропія.....	75
4.1.1. Ентропія зворотних і незворотних процесів.....	77
4.1.2. Зв'язок ентропії з термодинамічними параметрами.....	79
4.1.3. Розрахунок ентропії за теплоємностями і повний розрахунок ентропії	80
4.2. Хімічна рівновага, закон діючих мас	83
4.2.1. Застосування закону діючих мас до гетерогенної рівноваги	86

4.2.2. Термодинамічний аналіз рівноважного процесу на прикладі реакції CO з водяною парою, розрахунок рівноважних концентрацій і рівноважного ступеня перетворення	87
4.2.3. Рециркуляція	91

Глава 5. Кінетика хімічних реакцій

та її застосування в технології

5.1. Класифікація хімічних реакцій	95
5.2. Хімічна кінетика і її роль у вирішенні завдань технології	97
5.3. Швидкість хімічної реакції та методи її збільшення	98
5.4. Залежність швидкості реакції від температури, закон Арреніуса.....	100
5.5. Енергія активації і її визначення, теплота активації	101
5.6. Зв'язок швидкості хімічної реакції з продуктивністю реакторів.....	104
5.6.1. Зв'язок між швидкістю хімічної реакції і продуктивністю реактора в статичній системі ...	105
5.6.2. Визначення середньої швидкості \bar{r} для незворотної гомогенної реакції першого порядку.....	106
5.6.3. Розрахунок швидкості реакції для динамічних реакторів	107
5.6.4. Зв'язок об'ємної швидкості і часу контактування τ	108
5.7. Експериментальне визначення швидкостей хімічних реакцій	111

5.8. Вплив на швидкість реакцій концентрації реагуючих речовин і порядки реакції.....	115
5.9. Вплив тиску на швидкість хімічних реакцій	119

Глава 6. Дифузійна кінетика

6.1. Особливості гетерогенних реакцій і шляхи їх прискорення. Закон Фіка.....	122
6.2. Ознаки які вказують на наявність зовнішнього і внутрішнього дифузійного гальмування каталітичної реакції	129
6.3. Шляхи підвищення швидкості гетерогенних реакцій, які лімітуються дифузією та ознаки протікання реакції в дифузійній області.....	130
6.4. Кінетика реакцій, що лімітується дифузією на каталізаторі з рівнодоступною поверхнею	132
6.5. Закономірності дифузії на каталізаторах з неоднорідною поверхнею	134
6.6. Вплив температури на область протікання гетерогенного процесу.....	136
6.7. Вплив адсорбції на швидкість гетерогенних реакцій	139
Додаток	144
Предметний покажчик.....	147
Список використаної літератури.....	151