

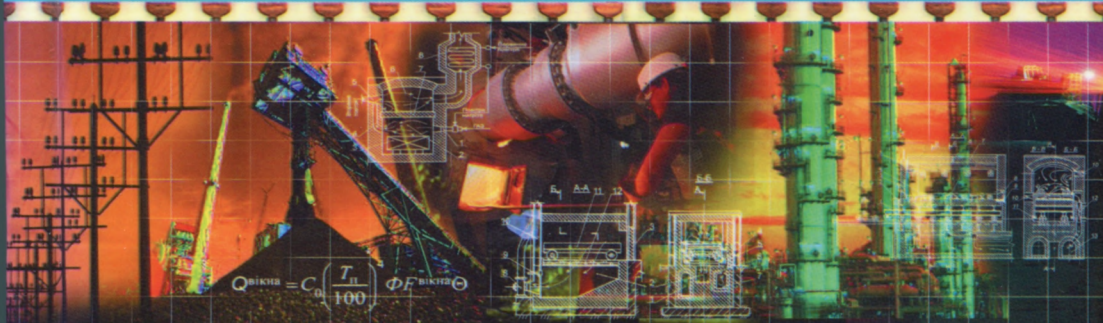


ТЕХНІЧНА ОСВІТА

О. О. Ткаченко

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ ПРОЦЕСИ ТА УСТАНОВКИ

Затверджено Міністерством освіти і науки України



ПІДРУЧНИК

аск

ТЕХНІЧНА ОСВІТА
Серія виходить з 2004 року

О. О. Ткаченко

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ ПРОЦЕСИ ТА УСТАНОВКИ

ПІДРУЧНИК

Затверджено Міністерством освіти і науки України

Київ
“А.С.К.”

ББК 31.32я73
Т48

Затверджено
Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів
(Лист № 1/11-4500 від 28.11.2001)

Рецензенти: **М. К. Безродний**, проф., д-р техн. наук;
О. Ю. Майстренко, чл.-кор. НАН України,
д-р техн. наук.

Ткаченко О. О.

Т48 Високотемпературні процеси та установки: Підруч. —
К.: А.С.К., 2005. — 480 с. — (Технічна освіта)
ISBN 966-539-471-1.

Підручник відповідає програмі з курсу "Високотемпературні процеси та установки". У ньому розглянуто питання створення теплотехнічних умов для здійснення високотемпературних процесів різних галузей виробництва: вибір палива, метод його спалювання, забезпечення високої ефективності нагрівання матеріалу, що обробляється, найбільш повне і економічне використання вторинних енергетичних ресурсів та подовження робочого циклу установок. Найважливіші проблеми проілюстровано розв'язанням задач, наведено необхідний довідковий матеріал.

Розрахований на студентів і викладачів вищих навчальних закладів. Буде корисним також для фахівців-виробників.

ББК 31.32я73

ISBN 966-539-471-1

© О. О. Ткаченко, 2004
© «А.С.К.», 2005

ЗМІСТ

<i>Передмова</i>	3
Розділ 1. Вступ у високотемпературну теплотехнологію та енергетику теплотехнологій	5
1.1. Початкові поняття та означення	5
1.2. Енергетичний баланс та основні напрямки використання енергоресурсів України	8
1.3. Енергетика теплотехнологій	12
Розділ 2. Характеристика високотемпературних теплотехнологічних процесів та умови їх організації	14
2.1. Короткий аналіз високотемпературних теплотехнологічних процесів	14
2.2. Умови проведення високотемпературних теплотехнологічних процесів у промислових печах	15
2.2.1. Хімічна кінетика процесу.....	16
2.2.2. Тепловий ефект хімічної реакції.....	16
2.2.3. Споживання та виділення теплоти	17
2.2.4. Тепловий і температурний режим у печах.....	18
2.2.5. Горіння та вибух.....	21
2.3. Визначальний температурний параметр процесу	22
2.4. Температурний рівень високотемпературного теплотехнологічного процесу	24
2.5. Основні умови розвитку високотемпературних процесів у промислових теплотехнологічних установках	25
Розділ 3. Організація процесів генерації теплоти у високотемпературних теплотехнологічних установках	29

3.1.	Загальні положення	29
3.2.	Механізм процесу горіння	31
3.2.1.	Кінетична та дифузійна області горіння.....	32
3.2.2.	Факельний процес спалювання газо- подібного палива.....	33
3.3.	Особливості спалювання газоподібного палива.....	37
3.4.	Особливості спалювання рідкого палива . . .	44
3.5.	Особливості спалювання твердого палива . . .	48
Розділ 4. Розрахунки процесу горіння палива		50
4.1.	Розрахунки повного згоряння палива.....	50
4.1.1.	Розрахунки повного згоряння твердого та рідкого палива.....	51
4.1.2.	Розрахунки повного горіння газоподіб- ного палива.....	55
4.2.	Розрахунки неповного горіння палива	58
4.2.1.	Розрахунок неповного горіння внаслідок дисоціації газів.....	58
4.2.2.	Розрахунок неповного горіння палива з утворенням оксиду вуглецю.....	63
4.2.3.	Розрахунок неповного горіння газоподібного палива при коефіцієнті витрати повітря $\alpha < 1$	64
Розділ 5. Теплові, теплотехнічні та конструктивні схеми високотемпературних установок		96
5.1.	Класифікація високотемпературних тепло- технологічних процесів	96
5.2.	Робочий простір печей	99
5.3.	Теплові та теплотехнічні схеми печей . . .	101
5.4.	Класифікація високотемпературних установок	104
Розділ 6. Конструкційні та технологічні матеріали високотемпературних установок		112
6.1.	Вплив стійкості конструкції на показники роботи ВУ	112
6.2.	Конструкційні металеві матеріали	113

6.3.	Загальні властивості та особливості мінеральних матеріалів	116
6.4.	Вогнетривкі матеріали та вироби	119
6.4.1.	Загальні характеристики вогнетривів	119
6.4.2.	Властивості вогнетривів.....	120
6.4.3.	Фізичні властивості вогнетривів.....	125
6.4.4.	Короткі дані про технології вироб- ництва та застосування вогнетривів.	127
6.4.5.	Вогнетривкий бетон.....	131
6.4.6.	Набивна вогнетривка маса.....	132
6.4.7.	Вибір стійкого робочого вогнетриву.	132
6.4.8.	Теплоізоляційні матеріали та вироби.	134
6.4.8.1.	Теплоізоляційні вогнетривкі матеріали.....	134
6.4.8.2.	Теплоізоляційні матеріали	135
6.4.8.3.	Розчини	137

Розділ 7. Конструктивні елементи високотемпера- турних установок

7.1.	Основні елементи високотемпературних установок	141
7.2.	Фундаменти та основи.....	142
7.3.	Каркаси	144
7.4.	Огородження високотемпературних установок.....	146
7.4.1.	Основні види огороження високо- температурних установок.....	146
7.4.2.	Конструктивні частини огороження.	149
7.5.	Гарнітура, механізми та обладнання ВУ	157
7.5.1.	Рами, заслінки, шибери та механізми для їх обслуговування.....	157
7.5.2.	Завантажувально-розвантажувальні та транспортні механізми.....	161

Розділ 8. Теплообмін у паливних високотемпера- турних установках

8.1.	Організація теплопередачі в промислових паливних печах	168
------	---	-----

8.1.1.	Загальні положення.....	168
8.1.2.	Зовнішній та внутрішній теплообмін.	169
8.1.3.	Теплообмін у робочому просторі печі з великим об'ємом.....	171
8.1.4.	Особливості руху газів у печах.....	173
8.1.5.	Порядок розрахунку теплообміну. . .	177
8.2.	Рівномірно розподілений радіаційний теплообмін	178
8.2.1.	Теплопередача.....	178
8.2.2.	Вибір палива та методу його спалювання.....	184
8.2.3.	Рух газів у печі.....	185
8.2.4.	Сфера застосування та принципи розрахунку	187
8.3.	Спрямований прямий радіаційний теплообмін.....	189
8.3.1.	Теплопередача.....	189
8.3.2.	Вибір палива та методу його спалювання.....	192
8.3.3.	Рух газів у печі.....	193
8.3.4.	Сфера застосування та принципи розрахунку	195
8.4.	Спрямований непрямий радіаційний теплообмін.....	197
8.4.1.	Теплопередача.....	197
8.4.2.	Вибір палива та методу його спалювання.....	200
8.4.3.	Рух газів у печі.....	201
8.4.4.	Сфера застосування та принципи розрахунку.....	202
8.5.	Конвективний та конвективно-радіаційний режими теплообміну	205
8.5.1.	Теплопередача. Конвективний режим теплообміну.....	205
8.5.2.	Вибір палива та методу його спалювання.....	208
8.5.3.	Рух газів.....	211

8.5.4. Сфера застосування та принципи розрахунку.....	213
8.6. Печі зі щільним фільтрувальним шаром (шахтні печі)	215
8.6.1. Теплопередача.....	215
8.6.2. Вибір палива та методу його спалювання.....	221
8.6.3. Рух матеріалів та газів.....	223
8.6.4. Сфера застосування та принципи розрахунку	229
8.7. Печі з псевдозрідженим (киплячим) шаром.	231
8.7.1. Теплопередача.....	232
8.7.2. Вибір палива та методу його спалювання.....	236
8.7.3. Рух газів та матеріалу.....	237
8.7.4. Сфера застосування та принципи розрахунку.....	240
8.8. Печі для процесу в завислому (псевдо- газовому) шарі	241
8.8.1. Теплопередача.....	241
8.8.2. Вибір палива та методу його спалювання.....	242
8.8.3. Рух матеріалів та газів.....	243
8.8.4. Сфера застосування та принципи розрахунку.....	251
8.9. Внутрішній теплообмін	253
8.9.1. Основні поняття і визначення.....	253
8.9.2. Поняття про тонкі та масивні тіла.	254
8.9.3. Нагрівання тонких тіл.....	258
8.9.4. Нагрівання масивних тіл.....	260
Розділ 9. Матеріальний та тепловий баланси	
високотемпературних установок	296
9.1. Матеріальний баланс.....	296
9.2. Тепловий баланс.....	298
9.3. Енергетичний баланс.....	304
9.4. Теплотехнічні характеристики роботи високотемпературних установок (ВУ).....	305

Розділ 10. Енергетичне удосконалення паливних високотемпературних установок	325
10.1. Критерії ефективності енерговикористання у ВУ	325
10.2. Варіанти використання вторинних енерго-ресурсів високотемпературних установок	327
10.3. Порівняльна оцінка варіантів використан-ня теплоти технологічних газів	330
10.4. Основи регенеративного тепловикористання	335
10.4.1. Основні положення	335
10.4.2. Економія палива при нагріванні повітря	337
10.4.3. Техніко-економічні та експлуата-ційні межі регенеративного нагріву повітря.....	339
10.4.4. Автономний високотемпературний нагрів повітря	341
10.4.5. Хімічна регенерація теплоти.....	343
10.4.6. Попередній нагрів відхідними газами технологічних матеріалів.	345
Розділ 11. Регенератори та рекуператори для нагрівання повітря та газу	377
11.1. Рациональні рівні нагріву повітря.....	377
11.2. Керамічні регенеративні підігрівники повітря.....	378
11.3. Керамічні рекуперативні підігрівники повітря.....	384
11.4. Металеві рекуперативні підігрівники повітря.....	388
11.4.1. Умови роботи металу при високих температурах.....	388
11.4.2. Теплотехнічні умови надійної та ефективної роботи металевих рекуператорів.....	390
11.4.3. Інтенсифікація відведення теплоти від металеві стінки рекуператора.	395
11.4.4. Конструкції та схеми включення металевих рекуператорів.....	397

Розділ 12. Парогенератори на відхідних технологічних газах	403
12.1. Напрямки використання теплоти технологічних газів	403
12.2. Класифікація парогенераторів на відхідних газах	404
12.3. Напрямки використання пари.....	405
12.4. Низькотемпературні парогенератори на відхідних газах.....	407
12.5. Високотемпературні парогенератори на відхідних газах.....	413
12.6. Парогенератори кисневих конверторів	416
Розділ 13. Примусове охолодження, використання шлаків та теплоти технологічних продуктів	419
13.1. Призначення примусового охолодження. Теплоносії та їх застосування	419
13.2. Конструкції елементів примусового випарного охолодження	425
13.3. Використання шлаків.....	427
13.4. Використання теплоти технологічних продуктів	429
Розділ 14. Комбіноване енерготехнологічне тепловикористання	432
Додатки	437
Список використаної літератури.....	467