

# **ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ**

ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЕВИХ  
І СИЛІКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ  
У ПРИКЛАДАХ І ЗАДАЧАХ

Навчальний посібник  
Частина 2

Фізико-хімічні системи, фазові рівноваги,  
термодинаміка, ресурсо- та  
енергозбереження в технології тугоплавких  
неметалевих і силікатних матеріалів

*За редакцією доктора технічних наук,  
професора М. І. Риценка*

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

**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ТУГОПЛАВКИХ  
НЕМЕТАЛЕВИХ І СИЛІКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ  
У ПРИКЛАДАХ І ЗАДАЧАХ**

Навчальний посібник

У двох частинах

Частина 2

**Фізико-хімічні системи, фазові рівноваги, термодинаміка,  
ресурсо-та енергозбереження в технології тугоплавких  
неметалевих і силікатних матеріалів**

*За редакцією доктора технічних наук, професора М. І. Риценка*

Харків Підручник НТУ «ХПІ» 2015

УДК 661.6(072)  
ББК 35.41я73  
Х 46

Колектив авторів:

*О. Ю. Федоренко, Я. М. Пітак, М. І. Рищенко, Л. П. Щукіна, Л. Л. Брагіна,  
Г. В. Лісачук, В. В. Тараненкова, Г. М. Шабанова, А. М. Корогодська,  
О. В. Саввова, Ю. О. Соболев, О. Я. Пітак Г. К Воронов, О. В. Шалигіна*

Рецензенти:

*В. С. Ведь*, д-р техн. наук, професор, в.о. завідувача кафедри інтегрованих технологій,  
процесів та апаратів Національного технічного університету «ХПІ»;  
*Е. С. Геворкян*, д-р техн. наук, доцент, професор кафедри  
«Матеріали та технологія виготовлення виробів транспортного призначення»  
Української державної академії залізничного транспорту.

Рекомендовано Вченою радою НТУ «ХПІ»  
(протокол № 3 від 26.03.2015 р.)

**Х 46** **Хімічна** технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах : навч. посіб. : у 2 ч. - Ч. 2 : Фізико-хімічні системи, фазові рівноваги, термодинаміка, ресурсо- та енергозбереження в технології ТНСМ / О. Ю. Федоренко, Я. М. Пітак, М. І. Рищенко [та ін.]; за ред. М. І. Рищенка. - Х.: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ»», 2015. - 336 с.

ISBN 978-966-2426-38-0 (повне вид.)

ISBN 978-617-687-060-9 (ч. 2)

Викладено розрахункові методи та приклади їх використання при вивченні фазових співвідношень у фізико-хімічних системах, термодинамічних дослідженнях процесів синтезу матеріалів, визначенні їх фазового складу. Розглянуто шляхи ресурсо- та енергозбереження в силікатних технологіях і розрахункові методи, які використовуються при розробленні матеріалів з пониженою температурою синтезу.

Для студентів вищих навчальних закладів і коледжів, які навчаються за спеціальністю «Хімічні технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів».

Лл. 73. Табл. 96. Бібліогр.: 60 назв.

УДК 661.6 (072)  
ББК 35.41 Я 73

ISBN 978-617-687-060-9 (ч. 2)

© Колектив авторів, 2015  
© Підручник НТУ «ХПІ», 2015

## ЗМІСТ

Передмова.....	3
<b>Розділ 1. Розрахунки у фізико-хімічних система.....</b>	<b>8</b>
1.1. Загальні поняття та визначення.....	8
1.2. Фазові рівноваги в двокомпонентних системах.....	9
1.2.1. Правило важеля.....	9
1.2.2. Визначення шляхів кристалізації сумішей на діаграмах стану двокомпонентних систем.....	19
1.2.3. Побудова діаграм плавлення сумішей у двокомпонентних системах.....	25
Задачі для практики.....	29
1.3. Фазові рівноваги в трикомпонентних системах.....	31
1.3.1. Трикомпонентні системи. Загальні положення і правила.....	31
1.3.2. Визначення шляхів кристалізації сумішей на діаграмах стану трикомпонентних систем.....	35
1.3.3. Аналітичні розрахунки в трикомпонентних системах та побудова діаграм плавлення.....	43
Задачі для практики.....	48
1.4. Оцінка складу та температури виникнення розплавів у фізико-хімічних системах.....	50
1.4.1. Розрахунок температури плавлення і складу евтектики в двокомпонентних системах.....	50
1.4.2. Розрахунок температури плавлення і складу евтектики в трикомпонентних системах.....	52
1.4.3. Оцінка складу та температури виникнення розплаву в чотирикомпонентних системах.....	53
Задачі для практики.....	55

1.5. Визначення довжини конод, площі елементарних трикутників, об'єму елементарних тетраедрів, ступеня їх асиметрії.....	56
Задачі для практики.....	60
1.6. Топологічний граф взаємозв'язку елементарних політопів....	62
1.6.1. Побудова топологічного графа взаємозв'язку елементарних трикутників на прикладі трикомпонентної системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ .....	62
1.6.2. Побудова топологічного графа взаємозв'язку елементарних тетраедрів на прикладі чотирикомпонентної системи $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ .....	65
Задачі для практики.....	68
<b>Розділ 2. Термодинаміка силікатів і тугоплавких неметалічних матеріалів.....</b>	<b>69</b>
2.1. Загальні положення.....	69
2.2. Ентальпія.....	72
2.2.1. Розрахунок $\Delta H^\circ_{298}$ за методикою О. Г. Морачевського і І. Б. Сладкова.....	72
2.2.2. Розрахунок $\Delta H^\circ_{298}$ за методом «ізоатом ентальпій утворення».....	74
2.2.3. Розрахунок $\Delta H^\circ_{298}$ за методом Карапетянца.....	78
2.2.4. Розрахунок теплоти утворення $\Delta H^\circ_{298}$ кисневмісних сполук за методом С. Є. Лагздіня.....	80
2.2.5. Оцінка стандартної ентальпії утворення складних кисневих неорганічних сполук за методом Н. А. Клепцової..	85
2.2.6. Методика розрахунку стандартних ентальпій утворення бінарних та потрійних сполук, яка враховує середню грам-атомну ентальпію утворення сполук даної потрійної системи	87
Задачі для практики.....	90
2.3. Ентропія.....	98

2.3.1. Розрахунок $S_{298}^{\circ}$ за методом Істмена.....	98
2.3.2. Розрахунок $S_{298}^{\circ}$ за методом Яцимирського.....	99
2.3.3. Розрахунок $S_{298}^{\circ}$ за методом Вуда і Фрейзера.....	99
Задачі для практики.....	101
2.4. Теплоємність.....	102
2.4.1. Розрахунок теплоємності за методом Н. А. Ландія.....	102
Задачі для практики.....	125
2.5. Вільна енергія Гіббса.....	127
2.5.1. Рівняння для розрахунку змінливої енергії Гіббса...	127
2.5.2. Оцінка імовірності перебігу реакцій.....	136
Задачі для практики.....	143
2.6. Застосування термодинамічних розрахунків у технології ТНСМ.....	144
2.6.1. Визначення критичної точки процесу розшарування розплавів за даними термодинамічних розрахунків.....	144
2.6.2. Термодинамічні розрахунки з встановленням імовірності перебігу твердофазових реакцій при варінні стекол та емалей.....	153
2.6.3. Термодинамічний аналіз утворення ферошпінелей у системі «метал - склоемалеве покриття».....	160
2.6.4. Розрахунок термодинамічних констант сполук, що входять до складу спеціальних цементів.....	164
2.6.5. Термодинамічні розрахунки при теоретичних дослідженнях фізико-хімічних систем.....	186
Задачі для практики.....	192
<b>Р о з д і л 3. Розрахунки фазового складу керамічних і склокристаличних матеріалів за складом технологічної суміші та за хімічним складом сировинних матеріалів.....</b>	<b>197</b>

3.1. Загальні відомості про фазовий склад матеріалів.....	197
3.2. Розрахунок фазового складу тонкокерамічних виробів за їх шихтовим та хімічним складом.....	198
3.3. Фазовий склад мулітових та мулітокорундових виробів.....	208
3.4. Фазовий склад кордієритової кераміки.....	215
3.5. Визначення фазового складу стеатитових і форстеритових виробів.....	224
3.6. Розрахунок фазового складу цельзіанової кераміки та ситалів...	229
3.7. Розрахунок фазового складу літєвої кераміки та ситалів.....	234
3.8. Графоаналітичний метод розрахунку фазового складу алюмосилікатної кераміки для заданих температурних умов.....	240
3.9. Прогнозна оцінка спікання керамічних мас в заданому інтервалі температур.....	247
Задачі для практики.....	250
<b>Розділ 4. Розрахунки, пов'язані з питаннями енергозбереження в технології ТНСМ.....</b>	<b>253</b>
4.1. Прогнозна оцінка ефективності використання інтенсифікаторів спікання шляхом вивчення температурної границі субсолідусного стану в двокомпонентних і багатоконпонентних системах сполук.....	253
Задачі для практики.....	263
4.2. Прогнозна оцінка ефективності використання природної флюсувальної сировини.....	264
4.2.1. Порівняльний аналіз методів теоретичного дослідження кварц-польовіошпатової сировини з метою оцінки її технологічних властивостей.....	264
4.2.2. Фізико-хімічна методика прогновної оцінки флюсувальної здатності кварц-польовіошпатових сировинних матеріалів....	270
Задачі для практики.....	290

Список літератури.....	292
ДОДАТКИ.....	298
Додаток 1 .....	298
Додаток 2.....	301
Додаток 3.....	304
Додаток 4.....	305
Додаток 5.....	309
Додаток 6.....	314
Додаток 7.....	316
Додаток 8.....	320