

Волинський національний університет
імені Лесі Українки
Факультет хімії, екології та фармації
Кафедра хімії та технологій

**Олег Марчук
Олександр Смітюх**

ОСНОВИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
(частина 2)

**Методичні рекомендації до лабораторного практикуму
для студентів спеціальностей
102 – Хімія та 014 – Середня освіта (Хімія)**

Луцьк – 2020

УДК 66.01

*Рекомендовано до друку науково-методичною радою
Волинського національного університету
імені Лесі Українки
(протокол № 2 від 21 жовтня 2020 року)*

Рецензенти:

Мороз І. А. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства Луцького національного технічного університету;

Марушко Л. П. – кандидат хімічних наук, декан факультету хімії, екології та фармації Волинського національного університету імені Лесі Українки.

М 30 Марчук О., Смітюх О. Основи хімічної технології (Частина 2). Методичні рекомендації до лабораторного практикуму для студентів спеціальностей 102 – Хімія та 014 – Середня освіта (Хімія) / Олег Васильович Марчук, Олександр Вікторович Смітюх. – Луцьк: ПП Іванюк В. П., 2020. – 28 с.

Навчально-методичне видання містить опис однієї із методик розрахунку ефективного способу отримання цільового продукту із різних видів сировини з точки зору енергоефективності.

Для студентів напряму підготовки бакалавра (спеціальності 102 – Хімія та 014 – Середня освіта (Хімія), викладачів і лаборантів, що проводять лабораторні заняття.

УДК 66.01

© Марчук О. В., Смітюх О. В. 2020
© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2020

ст.

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. Розрахунок матеріального балансу	5
Розділ 2. Розрахунок ентальпійного балансу	7
Розділ 3. План виконання розрахункового завдання	15
Розділ 4. Варіанти індивідуальних завдань	15
Розділ 5. Термодинамічні властивості простих речовин та сполук	21
Список рекомендованої літератури	26

ВСТУП

Основним напрямком розвитку хімічної технології є розробка досконалих способів виробництва продуктів, що задовільняють вимоги споживачів. На подальших етапах вирішуються задачі поліпшення якості продукту, економного витрачання матеріалів, збільшення продуктивності апаратури і т.п. По мірі вирішення цих задач виникає проблема економного витрачання енергетичних ресурсів і, в кінцевому рахунку, оптимізація процесу в цілому за економічними критеріями.

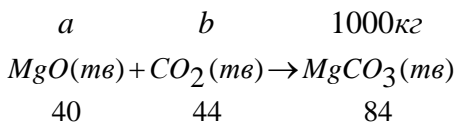
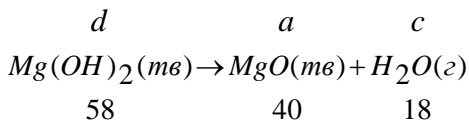
У методичних рекомендаціях запропоновано одну з методик пошуку найбільш ефективного способу отримання цільового продукту із різних видів сировини з точки зору енергоефективності його отримання.

Метою методичних рекомендацій є поглиблення і засвоєння студентами теоретичних знань, набутих у лекційному курсі, а також оволодіння методиками пошуку шляхів зменшення втрат енергії у хімічному виробництві.

Розділ 1. Розрахунок матеріального балансу.

ПРИКЛАД	перший	$Mg(OH)_2_{(ТВ)} = MgO_{(ТВ)} + H_2O_{(Г)}$	(а)
	спосіб	$MgO_{(ТВ)} + CO_2_{(Г)} = \underline{MgCO_3}_{(мв)}$	(б)
	другий	$MgO_{(ТВ)} + 2 HCl_{(Г)} = MgCl_2_{(ТВ)} + H_2O_{(Г)}$	(в)
	спосіб	$MgCl_2_{(ТВ)} + Na_2CO_3_{(ТВ)} = \underline{MgCO_3}_{(мв)} + 2 NaCl_{(ТВ)}$	(г)

Розрахунок матеріального балансу для виробництва 1000 кг магній карбонату ($MgCO_3$) проводять за схемою:



$$a = m(MgO) = \frac{40 \cdot 1000}{84} = 476,2кг$$

$$b = m(CO_2) = \frac{44 \cdot 1000}{84} = 523,8кг$$

$$V(CO_2) = \frac{22,4 \cdot 523,8}{44} = 266,7м^3$$

$$c = m(H_2O) = \frac{18 \cdot 476,2}{40} = 214,3кг$$

$$V(H_2O) = \frac{22,4 \cdot 214,3}{18} = 266,7м^3$$

$$d = m(Mg(OH)_2) = \frac{58 \cdot 476,2}{40} = 690,5кг$$

Аналогічний розрахунок проводять для другого способу.

Результати розрахунків зводимо у таблиці 1 та 2.

Таблиця 1

**Матеріальний баланс
першого способу отримання MgCO₃**

№ п/п	Речовина	Вихідні речовини		Продукти	
		м, кг	V, м ³	м, кг	V, м ³
$Mg(OH)_2_{(ТВ)} = MgO_{(ТВ)} + H_2O_{(Г)}$					
1.	Mg(OH) ₂ (ТВ)	690,5	–	–	–
2.	–	–	–	–	–
3.	MgO (ТВ)	–	–	476,2	–
4.	H ₂ O (Г)	–	–	214,3	266,7
Разом:		690,5	–	690,5	266,7
$MgO_{(ТВ)} + CO_2_{(Г)} = MgCO_3_{(ТВ)}$					
1.	MgO (ТВ)	476,2	–	–	–
2.	CO ₂ (Г)	523,8	266,7	–	–
3.	MgCO ₃ (ТВ)	–	–	1000,0	–
4.	–	–	–	–	–
Разом:		1000,0	266,7	1000,0	–

Таблиця 2

**Матеріальний баланс
другого способу отримання MgCO₃**

№ п/п	Речовина	Вихідні речовини		Продукти	
		м, кг	V, м ³	м, кг	V, м ³
$MgO_{(ТВ)} + 2 HCl_{(Г)} = MgCl_2_{(ТВ)} + H_2O_{(Г)}$					
1.	MgO (ТВ)	476,2	–	–	–
2.	HCl (Г)	869,0	533,3	–	–
3.	MgCl ₂ (ТВ)	–	–	1131,0	–
4.	H ₂ O (Г)	–	–	214,3	266,7
Разом:		1345,2	533,3	1345,2	266,7

№ п/п	Речовина	Вихідні речовини		Продукти	
		м, кг	V, м ³	м, кг	V, м ³
$\text{MgCl}_2_{(тв)} + \text{Na}_2\text{CO}_3_{(тв)} = \text{MgCO}_3_{(тв)} + 2 \text{NaCl}_{(тв)}$					
1.	$\text{MgCl}_2_{(тв)}$	1131,0	–	–	–
2.	$\text{Na}_2\text{CO}_3_{(тв)}$	1261,9	–	–	–
3.	$\text{MgCO}_3_{(тв)}$	–	–	1000,0	–
4.	$2\text{NaCl}_{(тв)}$	–	–	1392,9	–
Разом:		2392,9	–	2392,9	–

Розділ 2. Розрахунок ентальпійного балансу.

Для розрахунку ентальпійного балансу необхідно визначити температуру за якої рівновага реакцій буде зміщена у сторону продуктів реакції. Для цього знаходять значення енергії Гіббса за різних температур та будують графік залежності $\Delta G = f(T)$.

Розрахунки проводять, використовуючи довідникові дані із **Додатку 1** та співвідношення:

$$\Delta C_p = \Delta H^{298} + \Delta a \cdot (T - 298) + \frac{\Delta b}{2} \cdot (T^2 - 298^2) + \Delta c' \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{T} \right) + \frac{\Delta c}{3} \cdot (T^3 - 298^3) \quad (1)$$

$$\Delta H^T = \Delta H^{298} + \Delta C_p \quad (2)$$

$$\Delta S^T = \Delta S^{298} + \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT \quad (3)$$

$$\int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT = \Delta a \cdot \ln\left(\frac{T}{298}\right) + \Delta b \cdot (T - 298) + \quad (3 \text{ a})$$

$$+ \frac{\Delta c'}{2} \cdot \left(\frac{1}{298^2} - \frac{1}{T^2}\right) + \frac{\Delta c}{2} \cdot (T^2 - 298^2)$$

$$\Delta G^T = \Delta H^T - T \cdot \Delta S^T \quad (4)$$



$$\begin{aligned} \Delta a &= (a(\text{MgO}) + a(\text{H}_2\text{O})) - a(\text{Mg(OH)}_2) = \\ &= 48,98 + 30,0 - 46,99; \end{aligned}$$

$$\Delta a = 31,99 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{град}};$$

$$\begin{aligned} \Delta b &= (b(\text{MgO}) + b(\text{H}_2\text{O})) - b(\text{Mg(OH)}_2) = \\ &= 0,00314 + 0,01071 - 0,10285; \end{aligned}$$

$$\Delta b = -0,089 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{град}};$$

$$\begin{aligned} \Delta c' &= (c'(\text{MgO}) + c'(\text{H}_2\text{O})) - c'(\text{Mg(OH)}_2) = \\ &= -1144000,0 + 33000,0 - 0; \end{aligned}$$

$$\Delta c' = -1111000,0 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{град}};$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{298} &= (\Delta H^{298}(\text{MgO}) + \Delta H^{298}(\text{H}_2\text{O})) - \Delta H^{298}(\text{Mg(OH)}_2) = \\ &= ((-601498,0 + (-241810,0)) - (-924660,0)); \end{aligned}$$

$$\Delta H^{298} = 81360,0 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}};$$

$$\Delta S^{298} = (\Delta S^{298}(MgO) + \Delta S^{298}(H_2O)) - \Delta S^{298}(Mg(OH)_2) =$$

$$= ((-27,07 + (188,74)) - (63,18));$$

$$\Delta S^{298} = 152,63 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{град}}.$$

Аналогічні обчислення проводимо для інших трьох реакцій. Отримані дані використовуємо для обчислення енергії Гіббса та зводимо їх у таблиці 3 і 4. Значення температур підбираємо так, щоб виконувалась умова $\Delta G^T < 0$.

Таблиця 3

**Результати розрахунку термодинамічних параметрів
для першого способу отримання $MgCO_3$**

№ п/п	T, K	ΔH^T , Дж/моль	ΔS^T , Дж/моль·К	ΔG^T , Дж/моль
$Mg(OH)_2 (тв) = MgO (тв) + H_2O (г)$				
1.	600	77076,2	143,4	- 8980,2
2.	700	74225,7	139,0	- 23108,8
3.	800	70551,3	134,2	- 36772,9
4.	900	66031,0	128,8	- 49925,9
5.	1000	60651,6	123,2	- 62529,7
$MgO (тв) + CO_2 (г) = MgCO_3 (тв)$				
1.	300	- 100847,4	-175,6	- 48161,0
2.	350	- 100745,2	-175,3	- 39387,0
3.	400	- 100559,7	-174,8	- 30633,1
4.	450	- 100280,6	-174,2	- 21908,0
5.	500	- 99902,0	-173,4	- 13219,3

Таблиця 4

**Результати розрахунку термодинамічних параметрів
для другого способу отримання MgCO₃**

№ п/п	T, K	ΔH^T , Дж/моль	ΔS^T , Дж/моль·К	ΔG^T , Дж/моль
$MgO_{(тв)} + 2 HCl_{(г)} = MgCl_{2(тв)} + H_2O_{(г)}$				
1.	300	- 100481,2	- 122,3	- 63789,1
2.	400	- 99545,5	- 119,6	- 51699,5
3.	500	- 98599,0	- 117,5	- 39847,1
4.	600	- 97625,7	- 115,7	- 28187,6
5.	700	- 96618,4	- 114,2	- 16693,7
$MgCl_{2(тв)} + Na_2CO_{3(тв)} = MgCO_{3(тв)} + 2 NaCl_{(тв)}$				
1.	300	- 142500,1	- 19,0	- 136796,0
2.	400	- 143015,2	- 20,5	- 134819,4
3.	500	- 143748,9	- 22,1	- 132692,0
4.	600	- 144847,7	- 24,1	- 130384,2
5.	700	- 146374,4	- 26,5	- 127859,1

Ентальпію обчислюємо для кожного компонента (*K*) реакції, використовуючи результати розрахунку матеріального балансу, температур процесу і енергії Гіббса (рисунок 1). Для розрахунків визначаємо температуру за якої виконується умова $\Delta G^T < 0$ для реакцій (а), (б), (в) та (г), (в нашому випадку $T = 550$ K). Ентальпійний потік розраховуємо за рівняннями (5) і (6). Отримані дані зводимо у таблиці 5 та 6.

$$I_K^T = \frac{m_K \cdot \Delta H_K^T \cdot 1000}{Mr(K)} \quad (5)$$

$$\Delta I_{реакції} = \sum I_{пр. реакції} - \sum I_{вих. речовини} \quad (6)$$

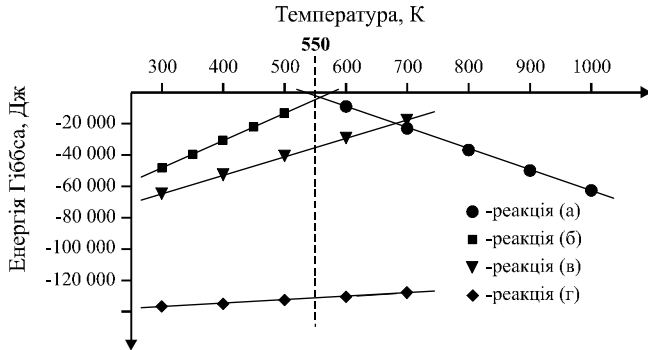


Рис. 1. Залежність енергії Гіббса від температури.



$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{Mg}(\text{OH})_2}^{550} &= \Delta H^{298} + a \cdot (T - 298) + \frac{b}{2} \cdot (T^2 - 298^2) + c' \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{T} \right) = \\ &= -924660 + 46,99 \cdot (550 - 298) + \frac{0,10285}{2} \cdot (550^2 - 298^2) + \\ &+ 0 \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{550} \right) = -901829 \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ}} \end{aligned}$$

$$I_{\text{Mg}(\text{OH})_2}^{550} = \frac{690,5 \cdot (-901829) \cdot 1000}{58 \cdot 1000000000} = -10,74 \text{ ГДж}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{MgO}}^{550} &= \Delta H^{298} + a \cdot (T - 298) + \frac{b}{2} \cdot (T^2 - 298^2) + c' \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{T} \right) = \\ &= -601490 + 48,98 \cdot (550 - 298) + \frac{0,00314}{2} \cdot (550^2 - 298^2) + \\ &+ -1144000 \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{550} \right) = -590570 \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ}} \end{aligned}$$

$$I_{\text{MgO}}^{550} = \frac{476,2 \cdot (-590570) \cdot 1000}{40 \cdot 1000000000} = -7,03 \text{ ГДж}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{H}_2\text{O}}^{550} &= \Delta H^{298} + a \cdot (T - 298) + \frac{b}{2} \cdot (T^2 - 298^2) + c' \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{T} \right) = \\ &= -241810 + 30,0 \cdot (550 - 298) + \frac{0,01071}{2} \cdot (550^2 - 298^2) + \\ &\quad + 33000 \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{550} \right) = -233055 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \\ I_{\text{H}_2\text{O}}^{550} &= \frac{214,3 \cdot (-233055) \cdot 1000}{18 \cdot 1000000000} = -2,77 \text{ ГДж} \end{aligned}$$

Аналогічний розрахунок проводимо для реакцій (б), (в) та (г).

Таблиця 5

**Результати розрахунку ентальпійних потоків
для першого способу отримання MgCO₃**

№ п/п	Речовина	Вихідні речовини		Продукти	
		т, кг	І, ГДж	т, кг	І, ГДж
Mg(OH)₂ (тв) = MgO (тв) + H₂O (г) (T = 550 К)					
1.	Mg(OH) ₂ (тв)	690,5	-10,74	–	–
2.	–	–	–	–	–
3.	MgO (тв)	–	–	476,2	-7,03
4.	H ₂ O (г)	–	–	214,3	-2,77
Разом:		690,5	-10,74	690,5	-9,8
$\Delta I_1 = \sum I_{\text{пр. реакції}} - \sum I_{\text{вих. речовини}} =$ $= -9,8 - (-10,74) = 0,93 \text{ ГДж}$					
MgO (тв) + CO₂ (г) = MgCO₃ (тв) (T = 550 К)					
1.	MgO (тв)	476,2	-7,03	–	–
2.	CO ₂ (г)	523,8	-4,56	–	–
3.	MgCO ₃ (тв)	–	–	1000,0	-12,77
4.	–	–	–	–	–

Разом:	1000,0	- 11,59	1000,0	-12,77
$\Delta I_1 = \sum I_{\text{пр. реакції}} - \sum I_{\text{вих. речовини}} =$ $= -12,77 - (-11,59) = -1,18 \text{ ГДж}$				
Разом:	$\Delta I = \Delta I_1 + \Delta I_2 = 0,93 + (-1,18) = -0,25$			

Таблиця 6

**Результати розрахунку ентальпійних потоків
для другого способу отримання MgCO₃**

№ п/п	Речовина	Вихідні речовини		Продукти	
		т, кг	I, ГДж	т, кг	I, ГДж
$\text{MgO}_{(тв)} + 2 \text{HCl}_{(г)} = \text{MgCl}_2_{(тв)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$					
1.	MgO _(тв)	476,2	- 7,03	–	–
2.	HCl _(г)	869,0	- 2,02	–	–
3.	MgCl ₂ _(тв)	–	–	1131,0	- 7,45
4.	H ₂ O _(г)	–	–	214,3	- 2,77
Разом:		1345,2	- 9,05	1345,2	- 10,22
$\Delta I_1 = \sum I_{\text{пр. реакції}} - \sum I_{\text{вих. речовини}} =$ $= -10,22 - (-9,05) = -1,17 \text{ ГДж}$					
$\text{MgCl}_2_{(тв)} + \text{Na}_2\text{CO}_3_{(тв)} = \text{MgCO}_3_{(тв)} + 2 \text{NaCl}_{(тв)}$					
1.	MgCl ₂ _(тв)	1131,0	- 7,45	–	–
2.	Na ₂ CO ₃ _(тв)	1261,9	- 13,08	–	–
3.	MgCO ₃ _(тв)	–	–	1000,0	- 12,77
4.	2NaCl _(тв)	–	–	1392,9	- 9,47
Разом:		2392,9	- 20,52	2392,9	- 22,24
$\Delta I_1 = \sum I_{\text{пр. реакції}} - \sum I_{\text{вих. речовини}} =$ $= -22,24 - (-20,52) = -1,72 \text{ ГДж}$					
Разом:	$\Delta I = \Delta I_1 + \Delta I_2 = -1,17 + (-1,72) = -2,89$				

Після проведення усіх розрахунків необхідно сформулювати висновки на основі правил:

1. якщо ентальпійний потік на виході більший, ніж на вході ($\Delta I > 0$), то для стійкого протікання процесу до реакційної системи необхідно підвести енергію а тому такий процес є енергозатратним;
2. якщо ентальпійний потік на вході більший, ніж на виході ($\Delta I < 0$), то для стійкого протікання процесу від реакційної системи необхідно відвести енергію, яку можна використати для інших технологічних процесів.

Для розглянутого вище прикладу, з точки зору енергетичних затрат, більш ефективним є другий спосіб!

Розділ 3. План виконання розрахункового завдання.

Розрахункова робота повинна складатись із таких частин:

1. Коротка характеристика фізичних та хімічних властивостей цільового продукту;
2. розрахунок матеріального балансу;
3. визначення оптимальної температури протікання реакцій;
4. розрахунок ентальпійного балансу;
5. аналіз результатів розрахунку.

Розділ 4. Варіанти індивідуальних завдань.

№ п/п	Спосіб отримання	Рівняння реакцій
1	перший:	$2 \text{C}_{(тв)} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CH}_4_{(г)} + \text{CO}_2_{(г)}$ $\text{CH}_4_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \underline{\text{CO}_{(г)}} + 3 \text{H}_2_{(г)}$
	другий:	$\text{C}_{(тв)} + 2 \text{H}_2_{(г)} = \text{CH}_4_{(г)}$ $\text{CH}_4_{(г)} + \text{CO}_2_{(г)} = 2 \underline{\text{CO}_{(г)}} + 2 \text{H}_2_{(г)}$
2	перший:	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}_{(г)} + \text{H}_2_{(г)} = (\text{CH}_3)_2\text{CHOH}_{(р)}$ $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}_{(р)} + \text{O}_{2(г)} = \underline{\text{H}_2\text{O}_2_{(р)}} + (\text{CH}_3)_2\text{CO}_{(р)}$
	другий:	$2\text{BaO}_{(тв)} + \text{O}_{2(г)} = 2 \text{BaO}_2_{(тв)}$ $\text{BaO}_2_{(тв)} + \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)} = \underline{\text{H}_2\text{O}_2_{(р)}} + \text{BaSO}_4_{(тв)}$
3	перший:	$\text{CaO}_{(тв)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \text{Ca(OH)}_2_{(тв)}$ $\text{Ca(OH)}_2_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)} = \underline{\text{CaCO}_3_{(мг)}} + \text{H}_2\text{O}_{(р)}$
	другий:	$\text{MgCl}_{2(тв)} + \text{Ca(OH)}_2_{(тв)} = \text{Mg(OH)}_2_{(тв)} + \text{CaCl}_{2(р)}$ $\text{CaCl}_2_{(тв)} + \text{Na}_2\text{CO}_3_{(тв)} = \underline{\text{CaCO}_3_{(мг)}} + 2\text{NaCl}_{(тв)}$
4	перший:	$\text{SO}_3_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)}$ $\text{CaF}_2_{(тв)} + \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)} = \text{CaSO}_4_{(тв)} + 2 \underline{\text{HF}_{(р)}}$
	другий:	$\text{CH}_4_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_{(г)} + 3 \text{H}_2_{(г)}$ $\text{H}_2_{(г)} + \text{F}_2_{(г)} = 2 \underline{\text{HF}_{(г)}}$
5	перший:	$\text{CaCO}_3_{(тв)} = \text{CaO}_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)}$

№ п/п	Спосіб отримання	Рівняння реакцій
		$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)} = 2\underline{\text{SiO}_2_{(мє)}} + \text{Na}_2\text{CO}_3_{(тв)}$
	другий:	$\text{CO}_{(г)} + 0,5 \text{O}_2_{(г)} = \text{CO}_2_{(г)}$
		$\text{Na}_2\text{SiO}_3_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)} = \underline{\text{SiO}_2_{(мє)}} + \text{Na}_2\text{CO}_3_{(тв)}$
6	перший:	$\text{Mg}_{(тв)} + 2 \text{HCl}_{(г)} = \text{MgCl}_2_{(тв)} + \text{H}_2_{(г)}$
		$\text{MgCl}_{2(тв)} + 2\text{NaOH}_{(р)} = \underline{\text{Mg(OH)}_2_{(мє)}} + 2\text{NaCl}_{(тв)}$
	другий:	$2 \text{Mg}_{(тв)} + \text{O}_2_{(г)} = 2 \text{MgO}_{(тв)}$
		$\text{MgO}_{(тв)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \underline{\text{Mg(OH)}_2_{(мє)}}$
7	перший:	$\text{SO}_3_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)}$
		$2\text{NaCl}_{(тв)} + \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)} = 2 \underline{\text{HCl}_{(г)}} + \text{Na}_2\text{SO}_4_{(тв)}$
	другий:	$\text{CH}_4_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_{(г)} + 3 \text{H}_2_{(г)}$
		$\text{H}_2_{(г)} + \text{Cl}_2_{(г)} = 2 \underline{\text{HCl}_{(г)}}$
8	перший:	$\text{SO}_3_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)}$
		$2\text{KBr}_{(тв)} + \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)} = \text{K}_2\text{SO}_4_{(тв)} + 2 \underline{\text{HBr}_{(г)}}$
	другий:	$\text{CH}_4_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_{(г)} + 3 \text{H}_2_{(г)}$
		$\text{H}_2_{(г)} + \text{Br}_2_{(г)} = 2 \underline{\text{HBr}_{(г)}}$
9	перший:	$\text{SO}_3_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)}$
		$2\text{KJ}_{(тв)} + \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)} = \text{K}_2\text{SO}_4_{(тв)} + 2 \underline{\text{HJ}_{(г)}}$
	другий:	$\text{CH}_4_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_{(г)} + 3 \text{H}_2_{(г)}$
		$\text{H}_2_{(г)} + \text{J}_2_{(г)} = 2 \underline{\text{HJ}_{(г)}}$
10	перший:	$\text{CaO}_{(тв)} + 3 \text{C}_{(тв)} = \text{CaC}_2_{(тв)} + \text{CO}_{(г)}$
		$\text{CaC}_2_{(тв)} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \underline{\text{Ca(OH)}_2_{(мє)}} + \text{C}_2\text{H}_2_{(г)}$
	другий:	$\text{MgCO}_3_{(тв)} + \text{CaCl}_2_{(тв)} = \text{CaCO}_3_{(тв)} + \text{MgCl}_2_{(тв)}$
		$\text{CaCO}_3_{(тв)} + \text{H}_2_{(г)} = \underline{\text{Ca(OH)}_2_{(мє)}} + \text{CO}_{(г)}$
11	перший:	$\text{MgCO}_3_{(тв)} = \text{MgO}_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)}$
		$\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)} = 2\underline{\text{SiO}_2_{(мє)}} + \text{Na}_2\text{CO}_3_{(тв)}$
	другий:	$\text{C}_{(графіт)} + \text{O}_2_{(г)} = \text{CO}_2_{(г)}$
		$\text{Na}_2\text{SiO}_3_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)} = \underline{\text{SiO}_2_{(мє)}} + \text{Na}_2\text{CO}_3_{(тв)}$

№ п/п	Спосіб отримання	Рівняння реакцій
12	перший:	$\text{CaCl}_2_{(тв)} + \text{H}_2_{(г)} = \text{CaH}_2_{(тв)} + 2 \text{HCl}_{(г)}$ $\text{CaH}_2_{(тв)} + \text{O}_2_{(г)} = \underline{\text{CaO}_{(мг)}} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$
	другий:	$\text{CaCl}_2_{(тв)} + 2\text{NaOH}_{(р)} = 2\text{NaCl}_{(тв)} + \text{Ca}(\text{OH})_{2(тв)}$ $\text{Ca}(\text{OH})_{2(тв)} = \underline{\text{CaO}_{(мг)}} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$
13	перший:	$\text{SO}_2_{(г)} + 0,5 \text{O}_2_{(г)} = \text{SO}_3_{(г)}$ $\text{SO}_3_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \underline{\text{H}_2\text{SO}_4_{(р)}}$
	другий:	$\text{CaSO}_4_{(тв)} = \text{SO}_3_{(г)} + \text{CaO}_{(тв)}$ $\text{SO}_3_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \underline{\text{H}_2\text{SO}_4_{(р)}}$
14	перший:	$\text{SO}_3_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \text{H}_2\text{SO}_4_{(р)}$ $3\text{H}_2\text{SO}_4_{(р)} + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_{2(тв)} = \underline{2\text{H}_3\text{PO}_4_{(р)}} + 3\text{CaSO}_4_{(тв)}$
	другий:	$4 \text{P}_{(тв)} + 5 \text{O}_2_{(г)} = 2 \text{P}_2\text{O}_5_{(тв)}$ $\text{P}_2\text{O}_5_{(тв)} + 3 \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \underline{2 \text{H}_3\text{PO}_4_{(р)}}$
15	перший:	$\text{CaCO}_3_{(тв)} = \text{CaO}_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)}$ $\text{CaO}_{(тв)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)} = \underline{\text{Ca}(\text{OH})_2_{(мг)}}$
	другий:	$\text{CaO}_{(тв)} + 2 \text{HCl}_{(г)} = \text{CaCl}_2_{(тв)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)}$ $\text{CaCl}_2_{(тв)} + 2\text{NaOH}_{(тв)} = \underline{\text{Ca}(\text{OH})_2_{(мг)}} + 2\text{NaCl}_{(тв)}$
16	перший:	$\text{H}_2_{(г)} + 0,5 \text{O}_2_{(г)} = \text{H}_2\text{O}_{(г)}$ $2 \text{H}_2\text{O}_{(г)} + \text{Ti}_{(тв)} = \underline{\text{TiO}_2_{(мг)}} + 2 \text{H}_2_{(г)}$
	другий:	$\text{Ti}_{(тв)} + 2 \text{Cl}_2_{(г)} = \text{TiCl}_4_{(тв)}$ $\text{TiCl}_4_{(тв)} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \underline{\text{TiO}_2_{(мг)}} + 4 \text{HCl}_{(г)}$
17	перший:	$\text{ZnCl}_2_{(тв)} + 2\text{NaOH}_{(тв)} = \text{Zn}(\text{OH})_2_{(тв)} + 2\text{NaCl}_{(тв)}$ $\text{Zn}(\text{OH})_2_{(тв)} = \underline{\text{ZnO}_{(мг)}} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$
	другий:	$\text{CO}_{(г)} + 0,5 \text{O}_2_{(г)} = \text{CO}_2_{(г)}$ $\text{Zn}_{(тв)} + \text{CO}_2_{(г)} = \underline{\text{ZnO}_{(мг)}} + \text{CO}_{(г)}$
18	перший:	$\text{Fe}_{(тв)} + 2 \text{S}_{(тв)} = \text{FeS}_2_{(тв)}$ $4 \text{FeS}_2_{(тв)} + 11 \text{O}_2_{(г)} = \underline{8 \text{SO}_2_{(г)}} + 2 \text{Fe}_2\text{O}_3_{(тв)}$
	другий:	$\text{H}_2\text{SO}_4_{(р)} = \text{SO}_3_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(р)}$

№ п/п	Спосіб отримання	Рівняння реакцій
		$2 \text{SO}_3 \text{ (r)} = 2 \underline{\text{SO}_2 \text{ (z)}} + \text{O}_2 \text{ (r)}$
19	перший:	$3 \text{NO}_2 \text{ (r)} + \text{H}_2\text{O (r)} = 2 \text{HNO}_3 \text{ (p)} + \text{NO (r)}$
		$\text{HNO}_3 \text{ (p)} + \text{NaOH (p)} = \underline{\text{NaNO}_3 \text{ (me)}} + \text{H}_2\text{O (p)}$
	другий:	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ (тв)} + \text{Ca(OH)}_2 \text{ (тв)} = \text{CaCO}_3 \text{ (тв)} + 2\text{NaOH (тв)}$
		$\text{NaOH (тв)} + \text{HNO}_3 \text{ (p)} = \underline{\text{NaNO}_3 \text{ (me)}} + \text{H}_2\text{O (p)}$
20	перший:	$\text{AlCl}_3 \text{ (тв)} + 3 \text{H}_2\text{O (p)} = \text{Al(OH)}_3 \text{ (тв)} + 3 \text{HCl (r)}$
		$2 \text{Al(OH)}_3 \text{ (тв)} = \underline{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (me)}} + 3 \text{H}_2\text{O (r)}$
	другий:	$2 \text{AlCl}_3 \text{ (тв)} = 2 \text{Al (тв)} + 3 \text{Cl}_2 \text{ (r)}$
		$4 \text{Al (тв)} + 3 \text{O}_2 \text{ (r)} = 2 \underline{\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ (me)}}$
21	перший:	$\text{NaOH (тв)} + \text{HNO}_3 \text{ (p)} = \text{NaNO}_3 \text{ (тв)} + \text{H}_2\text{O (p)}$
		$\text{NaNO}_3 \text{ (тв)} + \text{KCl (тв)} = \underline{\text{KNO}_3 \text{ (me)}} + \text{NaCl (тв)}$
	другий:	$\text{NO (r)} + 0,5 \text{O}_2 \text{ (тв)} = \text{NO}_2 \text{ (r)}$
		$2 \text{KO}_2 \text{ (тв)} + 2 \text{NO}_2 \text{ (r)} = 2 \underline{\text{KNO}_3 \text{ (me)}} + \text{O}_2 \text{ (r)}$
22	перший:	$\text{S (тв)} + \text{O}_2 \text{ (r)} = \text{SO}_2 \text{ (r)}$
		$\text{SO}_2 \text{ (r)} + 0,5 \text{O}_2 \text{ (r)} = \underline{\text{SO}_3 \text{ (z)}}$
	другий:	$\text{NO (r)} + 0,5 \text{O}_2 \text{ (r)} = \text{NO}_2 \text{ (r)}$
		$\text{SO}_2 \text{ (r)} + \text{NO}_2 \text{ (r)} = \underline{\text{SO}_3 \text{ (z)}} + \text{NO (r)}$
23	перший:	$\text{BaO (тв)} + 2 \text{HCl (r)} = \text{BaCl}_2 \text{ (тв)} + \text{H}_2\text{O (p)}$
		$\text{BaCl}_2 \text{ (тв)} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (p)} = \underline{\text{BaSO}_4 \text{ (me)}} + 2 \text{HCl (r)}$
	другий:	$2 \text{NaOH (тв)} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (p)} = \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ (тв)} + 2 \text{H}_2\text{O (p)}$
		$\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ (тв)} + \text{BaCl}_2 \text{ (тв)} = \underline{\text{BaSO}_4 \text{ (me)}} + 2 \text{NaCl (тв)}$
24	перший:	$\text{CdS (тв)} + 2 \text{HCl (r)} = \text{CdCl}_2 \text{ (тв)} + \text{H}_2\text{S (r)}$
		$\text{CdCl}_2 \text{ (тв)} + \text{CaO (тв)} = \underline{\text{CdO (me)}} + \text{CaCl}_2 \text{ (тв)}$
	другий:	$\text{Cd (тв)} + \text{H}_2\text{S (r)} = \text{CdS (тв)} + \text{H}_2 \text{ (r)}$
		$2 \text{CdS (тв)} + \text{O}_2 \text{ (r)} = \underline{\text{CdO (me)}} + 2 \text{SO}_2 \text{ (r)}$
25	перший:	$\text{NH}_4\text{Cl (тв)} = \text{HCl (r)} + \text{NH}_3 \text{ (r)}$
		$2 \text{HCl (r)} + \text{CaO (тв)} = \underline{\text{CaCl}_2 \text{ (me)}} + \text{H}_2\text{O (r)}$

№ п/п	Спосіб отримання	Рівняння реакцій
	другий:	$\text{CaSO}_{4(\text{ТВ})} + 2\text{NaOH}_{(\text{ТВ})} = \text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} + \text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{ТВ})}$ $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} + 2\text{HCl}_{(\text{Г})} = \underline{\text{CaCl}_2}_{(\text{МЕ})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{Г})}$
26	перший:	$\text{BaO}_{(\text{ТВ})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{П})} = \text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})}$ $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} + \text{CO}_2_{(\text{Г})} = \underline{\text{BaCO}_3}_{(\text{МЕ})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{П})}$
	другий:	$\text{MgCl}_{2(\text{ТВ})} + \text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} = \text{BaCl}_{2(\text{ТВ})} + \text{Mg}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})}$ $\text{BaCl}_{2(\text{ТВ})} + \text{Na}_2\text{CO}_3_{(\text{ТВ})} = \underline{\text{BaCO}_3}_{(\text{МЕ})} + 2\text{NaCl}_{(\text{ТВ})}$
27	перший:	$\text{N}_2_{(\text{Г})} + 3\text{H}_2_{(\text{Г})} = 2\text{NH}_3_{(\text{Г})}$ $\text{NH}_3_{(\text{Г})} + \text{HNO}_3_{(\text{П})} = \underline{\text{NH}_4\text{NO}_3}_{(\text{МЕ})}$
	другий:	$\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ТВ})} + 2\text{HNO}_3_{(\text{П})} = \text{Ca}(\text{NO}_3)_{2(\text{ТВ})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{П})}$ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_{2(\text{ТВ})} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4_{(\text{ТВ})} =$ $2\underline{\text{NH}_4\text{NO}_3}_{(\text{МЕ})} + \text{CaSO}_4_{(\text{ТВ})}$
28	перший:	$\text{CaO}_{(\text{ТВ})} + 3\text{C}_{(\text{ТВ})} = \text{CO}_{(\text{Г})} + \text{CaC}_2_{(\text{ТВ})}$ $\text{CO}_{(\text{Г})} + 2\text{H}_2_{(\text{Г})} = \underline{\text{CH}_3\text{OH}}_{(\text{П})}$
	другий:	$\text{CH}_4_{(\text{Г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{Г})} = \text{CO}_{(\text{Г})} + 3\text{H}_2_{(\text{Г})}$ $\text{CO}_{(\text{Г})} + 2\text{H}_2_{(\text{Г})} = \underline{\text{CH}_3\text{OH}}_{(\text{П})}$
29	перший:	$2\text{NO}_{(\text{Г})} + \text{O}_2_{(\text{Г})} = 2\text{NO}_2_{(\text{Г})}$ $3\text{NO}_2_{(\text{Г})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{Г})} = 2\underline{\text{HNO}_3}_{(\text{П})} + \text{NO}_{(\text{Г})}$
	другий:	$2\text{NO}_2_{(\text{Г})} + \text{Na}_{(\text{ТВ})} = \text{NaNO}_3_{(\text{ТВ})} + \text{NO}_{(\text{Г})}$ $2\text{NaNO}_3_{(\text{ТВ})} + \text{H}_2\text{SO}_4_{(\text{П})} = 2\underline{\text{HNO}_3}_{(\text{П})} + \text{Na}_2\text{SO}_4_{(\text{ТВ})}$
30	перший:	$\text{NH}_3_{(\text{Г})} + \text{HCl}_{(\text{Г})} = \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{ТВ})}$ $2\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{ТВ})} + \text{Na}_2\text{SO}_4_{(\text{ТВ})} = \underline{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}_{(\text{МЕ})} +$ $2\text{NaCl}_{(\text{ТВ})}$
	другий:	$\text{N}_2_{(\text{Г})} + 3\text{H}_2_{(\text{Г})} = 2\text{NH}_3_{(\text{Г})}$ $2\text{NH}_3_{(\text{Г})} + \text{H}_2\text{SO}_4_{(\text{П})} = \underline{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}_{(\text{МЕ})}$
31	перший:	$\text{C}_{(\text{ТВ})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{Г})} = \text{CO}_{(\text{Г})} + \text{H}_2_{(\text{Г})}$ $2\text{CO}_{(\text{Г})} + \text{O}_2_{(\text{Г})} = 2\underline{\text{CO}_2}_{(\text{Г})}$
	другий:	$\text{C}_{(\text{ТВ})} + 0,5\text{O}_2_{(\text{Г})} = \text{CO}_{(\text{Г})}$

№ п/п	Спосіб отримання	Рівняння реакцій
32	перший: другий:	$\text{CO}_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} = \underline{\text{CO}_{2(l)}} + \text{H}_2_{(r)}$ $\text{N}_{2(r)} + 3 \text{H}_{2(r)} = 2 \text{NH}_{3(r)}$ $8 \text{NH}_{3(r)} + 3 \text{Cl}_{2(r)} = 6 \underline{\text{NH}_4\text{Cl}_{(мс)}} + \text{N}_{2(r)}$ $\text{H}_{2(r)} + \text{Cl}_{2(r)} = 2 \text{HCl}_{(r)}$ $\text{HCl}_{(r)} + \text{NH}_{3(r)} = \underline{\text{NH}_4\text{Cl}_{(мс)}}$

Розділ 5. Термодинамічні властивості простих речовин та сполук.

Речовина	Фаза	ΔH^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж/(моль·К)	Коефіцієнти рівняння $C_p = f(T)$				Температурний інтервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^5$	$c \cdot 10^6$	
Прості речовини								
Al	тв	0	28,33	20,67	12,38	–	–	273 – 932
Br ₂	г	30,91	245,37	37,32	0,50	$\frac{-}{1,26}$	–	298 – 1500
C	графіт	0	5,74	16,86	4,77	$\frac{-}{8,54}$	–	298 – 2500
Cd	α	0	51,76	22,22	12,30	–	–	273 – 594
Cl ₂	г	0	222,98	37,03	0,67	$\frac{-}{2,85}$	–	298 – 3000
F ₂	г	0	202,67	34,56	2,51	$\frac{-}{3,51}$	–	298 – 2000
Fe	α	0	27,15	17,24	24,77	–	–	298 – 700
H ₂	г	0	130,52	27,28	3,26	0,50	–	298 – 3000
J ₂	г	62,43	260,60	37,40	0,59	$\frac{-}{0,71}$	–	298 – 3000
Mg	тв	0	32,68	22,30	10,63	$\frac{-}{0,42}$	–	298 – 920
N ₂	г	0	191,50	27,88	4,27	–	–	298 – 2500
Na	тв	0	51,21	16,82	37,82	–	–	298 – 371
O ₂	г	0	205,04	31,46	3,39	$\frac{-}{3,77}$	–	298 – 3000
P	тв	– 17,45	22,80	16,96	14,89	–	–	298 – 870
S	ромб	0	31,92	22,68	–	–	–	273 – 368
Ti	α	0	30,63	21,10	10,54	–	–	298 – 1155
Zn	тв	0	41,63	22,38	10,04	–	–	273 – 690
Неорганічні сполуки								
Al ₂ O ₃	тв	– 1675,69	50,92	114,55	12,89	$\frac{-}{34,31}$	–	298 – 1800

Речовина	Фаза	ΔH^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж/(моль·К)	Коефіцієнти рівняння $C_p = f(T)$				Температурний інтервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^5$	$c \cdot 10^6$	
Al(OH) ₃	ТВ	- 1273,6 0	85,4	93,2		-	-	298 – 1100
AlCl ₃	ТВ	- 704,17	109,29	77,12	47,83	-	-	273 – 453
BaCl ₂	ТВ	- 859,8	125,5	71,13	13,97	-	-	273 – 1198
BaO	ТВ	- 553,54	70,29	53,30	4,35	- 8,28	-	298 – 1270
BaO ₂	ТВ	- 630,1	77,5	56,9	8,4	-	-	-
Ba(OH) ₂	ТВ	- 943,49	100,83	70,71	91,63	-	-	298 – 681
BaCO ₃	ТВ	- 1210,85	112,13	86,9	48,95	- 11,97	-	298 – 1040
BaSO ₄	ТВ	- 1458,88	132,21	141,42	-	- 35,27	-	273 – 1300
CO	Г	- 110,53	197,55	28,41	4,10	- 0,46	-	298 – 2500
CO ₂	Г	- 393,51	213,66	44,14	9,04	- 8,54	-	298 – 2500
CaH ₂	ТВ	188,8	41,87	33,46	-	-	-	-
CaO	ТВ	- 635,09	38,07	49,62	4,52	- 6,95	-	298 – 1800
CaF ₂	α	- 1220,89	68,45	59,83	30,46	1,97	-	298 – 1000
CaCl ₂	ТВ	- 795,92	108,37	71,88	12,72	- 2,51	-	298 – 1055
Ca(OH) ₂	ТВ	- 985,12	83,39	105,19	12,01	- 19,00	-	298 – 600
CaCO ₃	ТВ	- 1206,83	91,71	104,52	21,92	- 25,94	-	298 – 1200
CaSO ₄	ТВ	- 1436,28	106,69	70,21	98,74	-	-	299 – 1400
Ca(NO ₃) ₂	ТВ	- 938,76	193,30	122,88	153,97	- 17,28	-	298 – 800
Ca ₃ (PO ₄) ₂	ТВ	- 4120,82	253,98	201,84	166,02	- 20,92	-	298 – 1373
CdS	ТВ	- 156,90	71,13	53,91	3,77	-	-	298 – 1273
CdCl ₂	ТВ	- 390,79	115,27	61,25	40,17	-	-	298 – 841
CdO	ТВ	- 258,99	54,81	48,24	6,38	-	-	273 – 1500

Речовина	Фаза	ΔH^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж/(моль·К)	Коефіцієнти рівняння $C_p = f(T)$				Температурний інтервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^5$	$c \cdot 10^6$	
						4,90		
Fe ₂ O ₃	тв	- 822,16	87,45	97,74	72,13	- 12,89	-	298 – 1000
FeS ₂	тв	- 177,40	52,93	74,81	5,52	- 12,76	-	298 - 1000
H ₂ O	г	- 241,81	188,72	30,00	10,71	0,33	-	298 – 2500
H ₂ O	р	- 285,83	69,95	39,02	76,64	11,96	-	273 – 380
H ₂ O ₂	р	- 187,02	105,86	53,60	117,15	-	-	298 – 450
HF	г	- 273,30	173,67	26,90	3,43	1,09	-	298 – 2500
HCl	г	- 92,31	186,79	26,53	4,60	1,09	-	298 – 2000
HBr	г	- 36,38	198,58	26,15	5,86	1,09	-	298 – 1600
HJ	г	26,36	206,48	26,32	5,94	0,92	-	298 – 2000
HNO ₃	г	- 133,91	266,78	-	-	-	-	-
HNO ₃	р	- 173,00	156,16	-	-	-	-	-
H ₂ S	г	- 20,60	205,70	29,37	15,40	-	-	298 – 1800
H ₂ SO ₄	р	- 813,99	156,90	156,90	28,30	- 23,46	-	298 – 553
H ₃ PO ₄	р	- 1266,90	200,83	-	-	-	-	298
KOH	тв	- 424,32	79,28	42,66	76,96	-	-	298 – 522
KCl	тв	- 436,68	82,55	41,38	21,76	3,22	-	298 – 1000
KBr	тв	- 393,80	95,94	48,37	13,89	-	-	298 – 543
KJ	тв	- 327,90	106,40	38,84	28,92	4,93	-	298 – 955
KO ₂	тв	- 283,00	116,8	62,8	50,2	-	-	-
KNO ₃	тв	- 492,46	132,88	60,88	118,83	-	-	273 – 401
K ₂ SO ₄	тв	- 1433,69	175,56	120,37	99,58	- 17,82	-	298 – 856
MgCl ₂	тв	- 644,80	89,54	79,08	5,94	- 8,62	-	298 – 900

Речовина	Фаза	ΔH^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж/(моль·К)	Коефіцієнти рівняння $C_p = f(T)$				Температурний інтервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^5$	$c \cdot 10^6$	
MgO	ТВ	- 601,49	27,07	48,98	3,14	- 11,44	-	298 – 3000
MgCO ₃	ТВ	- 1095,85	65,10	77,91	57,74	- 17,41	-	298 – 750
Mg(OH) ₂	ТВ	- 924,66	63,18	46,99	102,85	-	-	298 – 541
NO	Г	91,26	210,64	29,58	3,85	- 0,59	-	298 – 2500
NO ₂	Г	34,19	240,06	41,16	11,33	- 7,02	-	298 – 1500
NH ₃	Г	- 45,94	192,66	29,8	25,48	- 1,67	-	298 – 1800
NH ₄ Cl	β	- 314,22	94,81	-	-	-	-	-
NH ₄ NO ₃	ТВ	- 365,43	151,04	-	-	-	-	-
(NH ₄) ₂ SO ₄	ТВ	- 1180,31	220,08	103,6	280,80	-	-	275 – 600
NaCl	ТВ	- 411,12	72,13	45,94	16,32	-	-	298 – 1070
NaOH	α	- 426,35	64,43	7,34	125,00	13,38	-	298 – 566
NaNO ₃	α	- 466,70	116,50	25,69	225,94	-	-	298 – 550
Na ₂ SO ₄	α	- 1387,21	149,62	82,32	154,36	-	-	298 – 522
Na ₂ SiO ₃	ТВ	- 1561,43	113,76	130,29	40,17	- 27,07	-	298 – 1362
Na ₂ Si ₂ O ₅	ТВ.	- 2470,07	164,05	185,69	70,54	- 44,64	-	298 – 951
Na ₂ CO ₃	ТВ	- 1130,80	138,80	70,63	135,6	-	-	298 – 723
P ₂ O ₅	ТВ	- 1507,2	140,3	35,06	22,61	-	-	298 – 500
SO ₂	Г	- 296,9	248,07	46,19	7,87	- 7,70	-	298 – 2000
SO ₃	Г	- 395,2	256,69	64,98	11,75	- 16,37	-	298 – 1300
SiO ₂	Кварц α	- 910,94	41,84	46,99	34,31	- 11,3	-	298 – 846
ZnCl ₂	ТВ	- 415,05	111,46	60,67	23,01	-	-	298 – 590
TiCl ₄	Г	- 763,16	354,80	107,18	0,47	- 10,55	-	298 – 2000

Речовина	Фаза	ΔH^{298} , кДж/моль	S^{298} , Дж/(моль·К)	Коефіцієнти рівняння $C_p = f(T)$				Температурний інтервал
				a	$b \cdot 10^3$	$c' \cdot 10^5$	$c \cdot 10^6$	
TiO ₂	рутил	- 944,75	50,33	62,86	11,36	- 9,96	-	298 – 2140
ZnO	тв	- 348,11	43,51	48,99	5,10	- 9,12	-	298 – 1600
Zn(OH) ₂	тв	- 645,43	76,99	-	-	-	-	-
Органічні сполуки								
CH ₄	г	- 74,85	186,27	14,32	74,66	-	- 17,43	298 – 1500
C ₂ H ₂	г	226,75	200,8	26,44	66,65	-	- 26,48	298 – 1000
C ₂ H ₄	г	52,30	219,45	11,32	122,01	-	- 37,90	298 – 1500
CH ₃ OH	р	- 238,57	126,78	-	-	-	-	-
C ₂ H ₅ OH	г	- 234,80	281,38	10,99	204,7	-	- 74,20	298 – 1000
(CH ₃) ₂ CO	г	- 217,57	294,93	22,47	201,8	-	- 63,5	298 – 1500
(CH ₃) ₂ CO	р	- 248,11	200,41	-	-	-	-	298 – 1500
C ₆ H ₁₂ O ₆	тв	- 1051	287,16	261,06	-	-	-	-

Список рекомендованої літератури

1. Лейтес И. Л. Теория и практика химической энерготехнологии / И. Л. Лейтес, М. Х. Сосна, В. П. Семенов – М.: Химия. – 1988. – 280 с.
2. Кириллин В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Тейдлин – М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 416 с.
3. Чечеткин А. В. Теплотехника. Учеб. для хим. технологии спец. вузов / А. В. Чечеткин, Н. А. Занемонец – М.: Высшая школа. – 1986. – 344 с.
4. Шаргут Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела [пер. с польского, под ред. В. М. Бродянского]. – М.: Энергия. – 1968. – 279 с.
5. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности. / Под ред. Семененко И. А. – К.: Высшая школа. – 1979. – 296 с.
6. Кириллин В. А. Энергетика. Главные проблемы / В. А. Кириллин – М.: Знание. – 1990. – 120 с.
7. Солтис М. М. Математичне моделювання у хімії та хімічній технології: навч. посіб. / М. М. Солтис, В. П. Загордонський; Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка. – Л.: ЛНУ ім. І. Франка, 2011. – 327 с.
8. Ефимова А. И. Свойства неорганических соединений / А. И. Ефимова. – Л.: Химия, 1983. – 392 с.
9. Киреев В. А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций / В. А. Киреев. – М.: Химия, 1970. – 210 с.
10. Карапетьянц М. Х. Химическая термодинамика / М. Х. Карапетьянц – Химия, 1975. – 584 с.
11. Методичні вказівки до розрахункового завдання “Обґрунтування вибору енергоефективних витрат сировини в хімічній технології”: з дисципліни “Енерготехнологія хіміко-

технологічних процесів" для студ. спец. 6.05130101 "Хімічні технології неорганічних речовин" ден. та заоч. форм навчання і "Контроль та керування хіміко-технологічними процесами" для студ. спец. 6.05020201 "Автоматизоване управління технологічними процесами" ден. та заоч. форм навчання / Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т" ; [уклад.: Д. М. Дейнека та ін.]. – Х.: НТУ "ХП", 2012. – 30 с.

12. Краткий справочник физико-химических величин. Издание девятое / Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. – СПб.: Специальная литература, 1998. – 232 с.
13. Школа О. В. Основи термодинаміки і статистичної фізики: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. В. Школа. – Донецьк : Юго-Восток, 2009. – 375 с.

Навчально-методичне видання

Марчук Олег Васильович
Смітюх Олександр Вікторович

ЗАГАЛЬНА ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ

(Частина 2)

**Методичні рекомендації до лабораторного практикуму
для студентів спеціальностей
102 – Хімія та 014 – Середня освіта (Хімія)**

Друкується в авторській
редакції
Верстка О.В. Марчука

Підписано до друку 30.11.2010. Формат 60x84 1/16
Ум. друк. арк. 4.5 Зам. № 189. Тираж 100
Папір офсетний. Гарнітура Times. Друк офсетний
Друк ПП Іванюк В.П. 43021, м. Луцьк, вул. Винниченка, 63
Свідоцтво Держкомінформу України
ВЛн № 31 від 04.02.2004