

УДК 544.3

Субсолидусное строение системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$. Ч.3. Анализ субсолидусного строения системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ с учетом тройных оксидных соединений / *О.В. Костыркин (УкрГАЗТ, г. Харьков, Украина), Г.Н. Шабанова (НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина), С.М. Логвинков, Н.С. Цапко (ХНЭУ им С. Кузнеця, г. Харьков, Украина).*

Статья посвящена окончательному анализу твердофазных процессов, протекающих в системе $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ с учетом всех ее стабильных двух- и трехфазных комбинаций. Приводится полное субсолидусное строение, а также геометро-топологическая характеристика системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ и ее фаз. Представлен топологический граф взаимосвязи элементарных треугольников изучаемой системы.

Ключевые слова: система, энергия Гиббса, термодинамическая стабильность, комбинация фаз, субсолидусное строение.

The thermodynamics equilibrium in subsoliduse of the $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ system / P 3. Analysis subsolidus structure of $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ system with the ternary oxide compounds *O.V. Kostyrkin (UkrSART, Kharkov, Ukraine), G.N. Shabanova (NTU «KhPI», Kharkov, Ukraine), S.M. Logvinkov, N.S. Tsapko (KhNEU named S. Kyznetsa, Kharkov, Ukraine)*

The article is devoted to the analysis of the final solid-phase processes occurring in the system of $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ system with all its stable two- and three-phase combinations. We give a complete subsolidus structure and geometric-topological characteristics of $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ system and its phases. Presented topological graph the relationship of elementary triangles of the studied system.

Keywords: system, Gibbs energy, thermodynamic stability, a combination of the phases, subsolidus structure.

В условиях современного мира человек постоянно окружен электромагнитными излучениями (ЭМИ), как природного, так и антропогенного характера. Стремительное развитие техники вносит не только положительный аспект в жизнь человека, но и отрицательный – в виде электромагнитных излучений различных частот, действие которых еще недостаточно изучено. Поэтому актуальной задачей является разработка материалов позволяющих максимально ослабить действие ЭМИ на организм человека. Именно к таким материалам относятся ферромагнетики, чья способность спонтанно намагничиваться обусловлена доменной структурой вещества. Одним из интересных

направлений получения ферромагнитных веществ является их управляемый синтез из составляющих многокомпонентных оксидных систем. К таковым относится система $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$, слагающие оксиды которой обладают как ферромагнитными, так и защитными свойствами от жестких излучений, что позволяет существенно расширить область применения таких материалов.

Ранее в журнале «Огнеупоры и техническая керамика» были опубликованы статьи, объединенные единым названием «Субсолидусное строение системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ », где были рассмотрены термодинамические условия синтеза тройных соединений системы, а также проанализированы фазовые равновесия системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ без учета тройных оксидов. Настоящая статья посвящена окончательному анализу твердофазных процессов, протекающих в вышеупомянутой системе с учетом всех ее стабильных двух- и трехфазных комбинаций.

Для проведения теоретических исследований в системе $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ необходимо было иметь представление об исходных термодинамических константах. В связи с тем, что в общедоступных литературных источниках не были найдены все интересующие термодинамические константы, был произведен расчет исходных термодинамических величин для тройных оксидов $\text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$, $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ и $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ и для бинарного соединения BaCoO_2 с использованием известных методик [1-2].

Исходные данные для проведения термодинамического анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные термодинамические данные

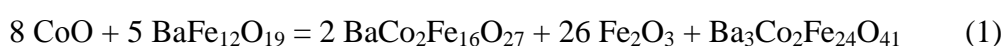
Формула соединения	$-\Delta H^0_{298}$, кДж/моль	S^0_{298} , Дж/моль·К	$C_p = a + b \cdot T + c \cdot T^{-2}$, Дж/моль·К			Источник
			a	$b \cdot 10^3$	$-c \cdot 10^{-5}$	
CoO	238,9	52,97	48,28	8,535	1,67	[4]
BaO	558,15	70,29	53,30	4,35	8,3	[3]
Fe ₂ O ₃	821,36	89,96	98,28	9,04	14,85	[3]
BaFe ₁₂ O ₁₉	5886,09	609,19	348,60	1168,82	-	[3]
BaFe ₂ O ₄	1282,81	158,99	172,38	20,88	5,94	[3]
Ba ₂ Fe ₂ O ₅	1763,97	229,07	295,03	-	51,09	[3]
Ba ₃ Fe ₂ O ₆	2620,61	312,63	219,03	90,80	14,48	[3]
Ba ₅ Fe ₂ O ₈	3635,56	809,76	288,11	150,90	6,05	[3]
Ba ₇ Fe ₄ O ₁₃	5541,71	687,26	506,88	112,10	37,99	[3]
Ba ₂ Fe ₆ O ₁₁	3752,80	437,4	398,94	119,50	59,91	[3]
BaCoO ₂ *	837,13	123,08	78,99	38,34	4,49	-
CoFe ₂ O ₄	1087,4	134,7	131,8	141,42	-	[4]
Ba ₂ Co ₂ Fe ₁₂ O ₂₂ *	6848,23	785,98	812,71	203,71	140,65	-
BaCo ₂ Fe ₁₆ O ₂₇ *	7987,63	895,36	1029,37	151,06	214,45	-
Ba ₃ Co ₂ Fe ₂₄ O ₄₁ *	12609,45	1396,22	1566,51	255,75	314,43	-

*- расчетные значения

Из результатов расчетов изменения свободной энергии Гиббса (табл. 2) следует, что протекание реакций № 1-5 (табл. 2) обеспечивает стабильность комбинации фаз BaCoO_2 и $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Таким образом, комбинация фаз и соответствующая коннода $\text{BaCoO}_2 - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ является термодинамически стабильной не только в ситуации при рассмотрении фазовых равновесий без учета тройных соединений, но и с учетом этих соединений в возможных реакционных взаимодействиях в системе $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Из-за наличия конноды $\text{BaCoO}_2 - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ триангуляция области системы, ограниченная точками составов BaO , BaCoO_2 и $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ в рассматриваемой ситуации не изменяется по сравнению с субсолидусным строением системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ без учета тройных соединений: стабильны коноды $\text{BaCoO}_2 - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, $\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_2\text{Fe}_6\text{O}_{11}$, $\text{BaCoO}_2 - \text{BaFe}_2\text{O}_4$, $\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, $\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_3\text{Fe}_2\text{O}_6$, $\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_7\text{Fe}_4\text{O}_{13}$, $\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_5\text{Fe}_2\text{O}_8$.

Анализ результатов расчетов изменения свободной энергии Гиббса для реакций № 6-12 (табл. 2) указывает на термодинамическое сосуществование исходных соединений из-за положительных значений ΔG , т.е. должна существовать коннода $\text{CoO} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, которая имеется и в ранее рассмотренном субсолидусном строении системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ без учета тройных соединений. Реакция №13 (табл. 2) обратима около 1360 К, но она имеет слишком маленькие абсолютные значения ΔG для того, чтобы при сопряжении с другими реакциями составить конкурирующие по стабильности комбинации фаз по сравнению с $\text{CoO} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Например, алгебраическое суммирование реакций № 11 и № 13 даст суммарное уравнение реакции типа «2=3»:



Реакция (1) моделирует условие сравнения стабильности двух- и трехфазной комбинаций фаз. Алгебраическое суммирование соответствующих значений изменения свободной энергии Гиббса для реакций № 11 и № 13 показывает, что $\Delta G_{1500 \text{ К}} \approx 2417$ кДж/моль. Чтобы это значение стало отрицательным коэффициент прогона реакции № 13 должен быть более 200, но этот коэффициент соответствующим образом изменит стехиометрию участвующих соединений и суммирование с реакцией № 11 даст уравнение, отличное от механизма взаимодействия реакции (1). Соответственно, элементарного треугольника, задаваемого вершинами $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$, $\text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ и Fe_2O_3 , в субсолидусном строении анализируемой системы нет из-за большей термодинамической стабильности бинарной комбинации CoO и $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

Таблица 2

Значения изменения свободной энергии Гиббса от температуры для модельных реакций системы CoO – BaO – Fe₂O₃

№	Реакция	ΔG , кДж/моль при T, K						
		800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
1	$6 \text{ BCo} + 7 \text{ BF}_6 = 3 \text{ B}_3\text{Co}_2\text{F}_{12} + 2 \text{ B}_2\text{F}_3$	849,0	1055,3	1449,6	2051,2	2873,6	3926,6	5217,7
2	$10 \text{ BCo} + 11 \text{ BF}_6 = 5 \text{ B}_3\text{Co}_2\text{F}_{12} + 6 \text{ BF}$	2365,3	2698,1	3327,2	4284,2	5590,8	7263,3	9313,9
3	$18 \text{ BCo} + 19 \text{ BF}_6 = 9 \text{ BC}_2\text{F}_8 + 14 \text{ B}_2\text{F}_3$	2231,5	2775,9	3830,1	5445,0	7655,8	10488,4	13962,7
4	$10 \text{ BCo} + 9 \text{ BF}_6 = 5 \text{ BC}_2\text{F}_8 + 14 \text{ BF}$	3456,9	3733,7	4253,9	5044,3	6123,3	7504,5	9198,5
5	$6 \text{ BCo} + 4 \text{ BF}_6 = 3 \text{ B}_2\text{Co}_2\text{F}_6 + 2 \text{ B}_2\text{F}_3$	497,2	621,0	850,0	1194,3	1660,9	2255,1	2980,8
6	$2 \text{ Co} + 3 \text{ BF}_6 = \text{B}_3\text{Co}_2\text{F}_{12} + 6 \text{ F}$	638,6	761,3	970,0	1272,4	1673,7	2177,7	2787,4
7	$2 \text{ Co} + 2 \text{ BF}_6 = \text{B}_2\text{Co}_2\text{F}_6 + 6 \text{ F}$	521,3	616,5	770,1	986,7	1269,4	1620,5	2041,7
8	$8 \text{ Co} + 6 \text{ BF}_6 = 3 \text{ BC}_2\text{F}_8 + \text{B}_3\text{Co}_2\text{F}_{12}$	889,3	1209,8	1698,9	2370,9	3235,9	4301,5	5573,8
9	$18 \text{ Co} + 13 \text{ BF}_6 = 9 \text{ BC}_2\text{F}_8 + 2 \text{ B}_2\text{F}_3$	2092,9	2891,9	4060,9	5628,1	7614,4	10035,7	12904,4
10	$10 \text{ Co} + 7 \text{ BF}_6 = 5 \text{ BC}_2\text{F}_8 + 2 \text{ BF}$	1479,5	1919,7	2559,8	3415,2	4497,4	5815,1	7375,0
11	$8 \text{ Co} + 5 \text{ BF}_6 = 3 \text{ BC}_2\text{F}_8 + \text{B}_2\text{Co}_2\text{F}_6$	772,0	1065,1	1499,1	2085,3	2831,6	3744,3	4828,1
12	$8 \text{ Co} + 2 \text{ BF}_6 = \text{B}_2\text{Co}_2\text{F}_6 + 6 \text{ CoF}$	347,4	392,5	470,3	584,5	737,7	931,9	1168,7
13	$\text{BC}_2\text{F}_8 + \text{B}_2\text{Co}_2\text{F}_6 = 2 \text{ CoF} + \text{B}_3\text{Co}_2\text{F}_{12}$	51,7	39,4	20,4	-5,4	-38,2	-77,9	-124,8
14	$2 \text{ CoF} + 2 \text{ B}_3\text{Co}_2\text{F}_{12} = 3 \text{ B}_2\text{Co}_2\text{F}_6 + 8 \text{ F}$	344,6	401,6	470,4	549,5	638,2	735,7	841,5
15	$\text{BC}_2\text{F}_8 + \text{B}_3\text{Co}_2\text{F}_{12} = 2 \text{ B}_2\text{Co}_2\text{F}_6 + 8 \text{ F}$	396,3	441,9	490,8	544,1	599,9	657,7	716,6
16	$\text{B}_3\text{Co}_2\text{F}_{12} + 8 \text{ F} = \text{BC}_2\text{F}_8 + 2 \text{ BF}_6$	-603,9	-730,6	-890,5	-1115,4	-1408,5	-1772,0	-2207,9
17	$\text{B}_2\text{Co}_2\text{F}_6 + 8 \text{ F} = \text{BC}_2\text{F}_8 + \text{BF}_6$	-513,6	-585,8	-690,6	-829,7	-1004,2	-1214,8	-1462,3

Примечание: B – BaO; Co – CoO; F – Fe₂O₃

Для реакций № 14 и 15 отмечаются положительные значения изменения свободной энергии Гиббса во всем рассматриваемом диапазоне температур (табл. 2), что означает невозможность существования Ba₂Co₂Fe₁₂O₂₂ с Fe₂O₃, которые способны дестабилизировать конноду CoO – BaFe₁₂O₁₉. Дополнительным доводом вышеприведенного заключения являются реакции № 16 и 17, которые характеризуются отрицательными значениями ΔG (табл. 2) и как по отдельности, так и при сопряжении

указывают на термодинамическую стабильность $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ и $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ в комбинации с Fe_2O_3 .

Таким образом, наличие коннод $\text{BaCoO}_2 - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и $\text{CoO} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ детерминируют топологическую необходимость существования коннод: $\text{CoO} - \text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$, $\text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27} - \text{CoFe}_2\text{O}_4$, $\text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и $\text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ в области, ограниченной точками составов соединений CoO , $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и Fe_2O_3 , а также коннод: $\text{CoO} - \text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$; $\text{CoO} - \text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$; $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22} - \text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$; $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$; $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41} - \text{BaCoO}_2$ и $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22} - \text{BaCoO}_2$. В системе отмечается 18 коннод и 16 элементарных треугольников, что отвечает правилу Н.С. Курнакова.

Полное субсолидусное строение системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ представлено на рис. 1.

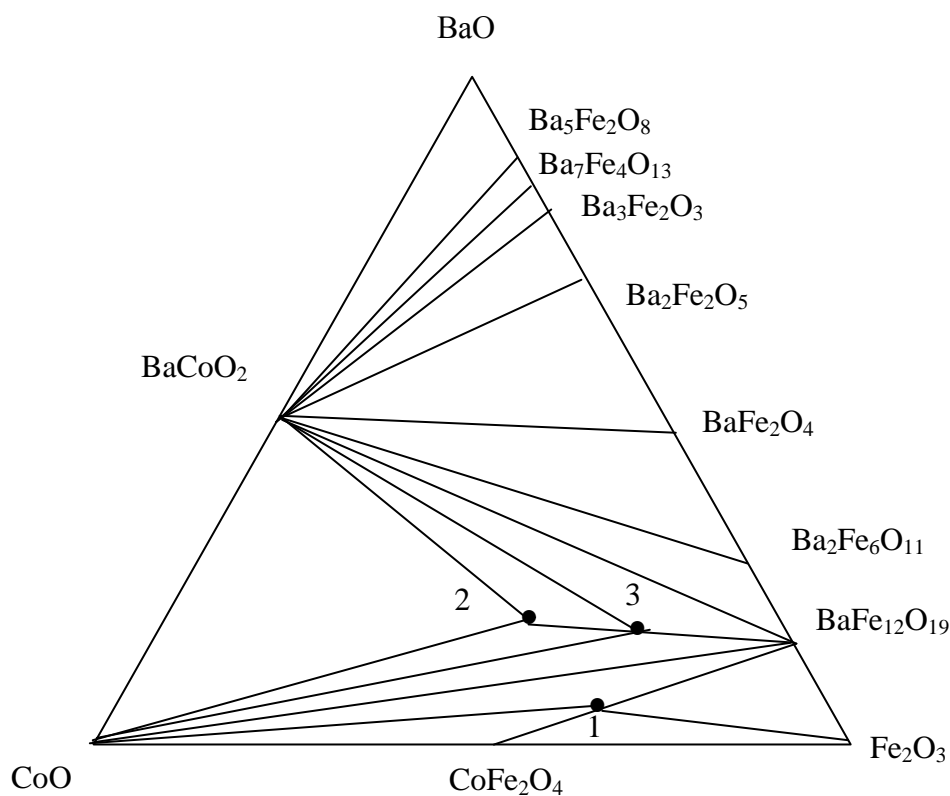


Рис. 1 Субсолидусное строение системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ (1 – $\text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$; 2 – $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$; 3 – $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$)

Геометро-топологическая характеристика системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ и ее фаз представлена в табл. 3 – 4.

Таблица 3

Площади элементарных треугольников системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$

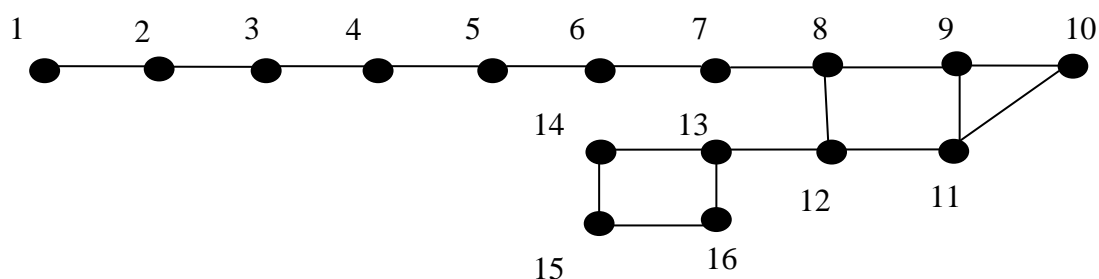
№ п/п	Элементарный треугольник	Площадь, ‰
1	$\text{BaO} - \text{BaCoO}_4 - \text{Ba}_5\text{Fe}_2\text{O}_8$	0,0345
2	$\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_5\text{Fe}_2\text{O}_8 - \text{Ba}_7\text{Fe}_4\text{O}_{13}$	0,0154
3	$\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_7\text{Fe}_4\text{O}_{13} - \text{Ba}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,0093
4	$\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_3\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	0,0367
5	$\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 - \text{BaFe}_2\text{O}_4$	0,053
6	$\text{BaCoO}_2 - \text{BaFe}_2\text{O}_4 - \text{Ba}_2\text{Fe}_6\text{O}_{11}$	0,0323
7	$\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_2\text{Fe}_6\text{O}_{11} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	0,0522
8	$\text{BaCoO}_2 - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19} - \text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$	0,0172
9	$\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22} - \text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$	0,0134
10	$\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22} - \text{CoO}$	0,4849
11	$\text{CoO} - \text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41} - \text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$	0,0511
12	$\text{CoO} - \text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	0,0523
13	$\text{CoO} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19} - \text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$	0,0378
14	$\text{CoO} - \text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27} - \text{CoFe}_2\text{O}_4$	0,066
15	$\text{CoFe}_2\text{O}_4 - \text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27} - \text{Fe}_2\text{O}_3$	0,0305
16	$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27} - \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	0,0131
Сумма	-	1
Max	-	0,4849
Min	-	0,0093

Топологический граф взаимосвязи элементарных треугольников представлен на рис 2. Граф плоский, без ложного пересечения ребер и с одной «висящей» вершиной, отвечающей элементарному треугольнику, у которого две стороны выходят на концентрационные оси системы ($\text{BaO} - \text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_5\text{Fe}_2\text{O}_8$). Пять из 16 вершин графа имеют степень связности равную трем, т.е. элементарные треугольники, отвечающие этим вершинам, не имеют сторон с выходом на концентрационные оси системы – «вставные».

Таблица 4

Геометро–топологическая характеристика фаз системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$

Соединение	Во скольких треугольниках существует	Со сколькими фазами сосуществует	Суммарная площадь существования, S, %	Вероятность существования, ω , %
BaO	1	2	0,0345	0,0115
CoO	5	6	0,6894	0,2298
Fe_2O_3	2	3	0,0436	0,0145
BaCoO_2	10	11	0,7781	0,2593
CoFe_2O_4	2	3	0,0965	0,0321
$\text{Ba}_5\text{Fe}_2\text{O}_8$	2	3	0,0499	0,0166
$\text{Ba}_7\text{Fe}_4\text{O}_{13}$	2	3	0,0277	0,0092
$\text{Ba}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	2	3	0,036	0,012
$\text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	2	3	0,0797	0,0266
BaFe_2O_4	2	3	0,0883	0,0294
$\text{Ba}_2\text{Fe}_6\text{O}_{11}$	2	3	0,0865	0,0288
$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$	5	6	0,1677	0,0559
$\text{BaCo}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$	4	4	0,1384	0,0461
$\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$	3	3	0,5494	0,1831
$\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$	4	4	0,134	0,447
Сумма	-	-	3	1
Max	10	11	0,7781	0,2593
Min	1	2	0,0247	0,0092

Рис. 2 Топологический граф взаимосвязи элементарных треугольников системы $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$

В результате проведенных исследований установлено, что система $\text{CoO} - \text{BaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ разбивается на 16 элементарных треугольника, которые значительно отличаются между собой по геометрическим характеристикам. Максимальную площадь имеет треугольник $\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22} - \text{CoO}$ (0,4849), а минимальную – треугольник $\text{BaCoO}_2 - \text{Ba}_7\text{Fe}_4\text{O}_{13} - \text{Ba}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ (0,0093). Наибольшая вероятность существования фаз BaCoO_2 (0,2593) и CoO (0,2298), наименьшая – $\text{Ba}_7\text{Fe}_4\text{O}_{13}$ (0,0092).

Геометро-топологические характеристики системы технологически важны для прогнозирования степени точности дозировки компонентов, а также необходимого времени их смешения перед синтезом материалов с заданным фазовым составом.

Библиографический список

1. **Ландия Н.А.** Расчет высокотемпературных теплоемкостей твердых неорганических веществ по стандартной энтропии. // Тбилиси: Изд-во АН ГрузССР, 1962. – 223 с.
2. **Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П.** Термодинамика силикатов // – М.: Стройиздат, 1972. – 350 с.
3. Powder Diffraction File. Inorganic Phases. Alphabetical Index (chemical & mineral names). – Pennsylvania (USA): JCPDS (Intern. Centr. Diffr. Data). – 1985.
4. **Г.Н. Шабанова** Барийсодержащие оксидные системы и вяжущие материалы на их основе // Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 280 с.