

О. В. ХРИСТИЧ, А. М. КОРОГОДСЬКА, Г. М. ШАБАНОВА, С. М. ЛОГВІНКОВ

ДО ПИТАННЯ ПРО СПІВІСНУВАННЯ НІКЕЛОВОЇ І КОБАЛЬТОВОЇ ШПІНЕЛІ

Для розробки композиційних матеріалів на основі глиноземистих та високоглиноземистих цементів за ресурсощадною технологією при заміні вихідних сировинних матеріалів на некондиційну сировину та відходи хімічних виробництв, виникає необхідність фізико-хімічного обґрунтування співіснування новоутворених фаз у складі в'язучого матеріалу, це зумовило необхідність дослідження субсолідусної будови системи. У роботі наведено результати розрахунків, що характеризують елементи субсолідусної будови системи $\text{CoO} - \text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3$. За результатами досліджень встановлено переважність преребігу твердофазних реакцій обміну та визначено будову системи $\text{CoO} - \text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ у субсолідусній області. Встановлено, що субсолідусна будова системи проста і складається з трьох елементарних трикутників. Аналіз площі елементарних трикутників і невисокий ступінь асиметрії вказують на відсутність істотних ризиків відхилення від заданого фазового складу синтезованих матеріалів через підготовчі технологічні стадії, а під час синтезу матеріалів не потрібні спеціальні заходи щодо точності дозування вихідних інгредієнтів. За результатами розрахунків визначено найбільш термодинамічно стабільну сполуку в досліджуваній системі (алюмокобальтову шпінель), а також визначено максимальну ймовірність її існування. Алюмонікелева шпінель має меншу ймовірність існування, тому що не співіснує з CoO і не представлена в елементарному трикутнику з максимальною площею. Алюмонікелева шпінель має меншу ймовірність існування, а найменш вірогідною є ідентифікація Al_2O_3 у складі гетерофазних комбінацій. За результатами досліджень проаналізовано геометро-топологічні та статистичні характеристики субсолідусної будови системи, які мають значення для точності прогнозування комбінацій фаз при синтезі нових гетерогенних композиційних матеріалів.

Ключові слова: термодинамічні розрахунки, субсолідусна будова, довжина конноди, алюмокобальтова шпінель, геометро-топологічні та статистичні характеристики.

O. V. KHRYSYCH, A. M. KOROGODSKA, H. M. SHABANOVA, S. M. LOGVINKOV

ON THE QUESTION OF THE COEXISTENCE OF NICKEL AND COBALT SPINEL

For the development of composite materials based on alumina and high-alumina cements using resource-saving technology when replacing the original raw materials with substandard raw materials and chemical wastes, there is a need for a physical and chemical substantiation of the coexistence of newly formed phases in the composition of the binder, which necessitated the study of the subsolidus structure of the system. The paper presents the results of calculations characterising the elements of the subsolidus structure of the $\text{CoO} - \text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ system. The results of the study revealed the predominance of solid-phase exchange reactions and determined the structure of the $\text{CoO} - \text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ system in the subsolidus region. It was found that the sub-solidus structure of the system is simple and consists of three elementary triangles. The analysis of the area of the elementary triangles and the low degree of asymmetry indicate that there are no significant risks of deviation from the specified phase composition of the synthesised materials due to the preparatory technological stages, and no special measures are required during the synthesis of materials to ensure the accuracy of the dosage of the starting ingredients. Based on the results of the calculations, the most thermodynamically stable compound in the studied system (aluminocobalt spinel) was identified, and the maximum probability of its existence was determined. Aluminium-nickel spinel has a lower probability of existence because it does not coexist with CoO and is not represented in the elementary triangle with the maximum area. Aluminium-nickel spinel has a lower probability of existence, and the least likely is the identification of Al_2O_3 in the composition of heterophase combinations. Based on the results of the study, the geometric-topological and statistical characteristics of the subsolidus structure of the system were analysed, which are important for the accuracy of predicting phase combinations in the synthesis of new heterogeneous composite materials.

Keywords: thermodynamic calculations, subsolidus structure, length of tie lines, alumina-cobalt spinel, geometrotopological and statistical characteristics.

Вступ. У сучасних умовах особливо актуальним є прагнення до матеріало- та енергозбереження, економії природних ресурсів, зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Останніми роками особлива увага приділяється розробкам композиційних матеріалів на основі некондиційної сировини та відходів хімічних виробництв, що додатково підвищує технічні властивості отримуваних матеріалів (міцність, вогнетривкість, довговічність, можливість експлуатації у високотемпературних режимах та умовах змінних температур). В'язучий матеріал є невід'ємною частиною неформованих вогнетривів, який забезпечує міцність після затвердіння та формує зносостійку структуру. Найбільш часто у вогнетривких матеріалах як зв'язки використовують глиноземисті та високоглиноземисті цементи [1, 2]. При заміні вихідних сировинних матеріалів при синтезі таких цементів виникає необхідність фізико-хімічного обґрунтування співіснування новоутворених фаз у складі в'язучого матеріалу. Прикладом такої заміни може слугувати введення до складу сировинної суміші відходів носіїв

каталізаторів високотемпературних процесів нафтоорганічного синтезу, основою яких є оксиди кобальту та нікелю, нанесені на підкладку з оксиду алюмінію [3]. Одночасне введення таких відходів зумовило необхідність дослідження субсолідусної будови системи $\text{CoO} - \text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3$. Окрім синтезу в'язучих матеріалів дана система має значення для виробництва вогнетривких заповнювачів для неформованих вогнетривів, керамічних виробів з особливим комплексом електрофізичних характеристик, отримання термостійких пігментів, глазурі та емалей, у яких оксиди нікелю і кобальту виконують традиційну функцію підвищення "зчеплення" із захисною підкладкою [4, 5]. Крім того, система $\text{CoO} - \text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ входить як складова частина до складу більш багатокomпонентних оксидних систем, і без вивчення фазових рівноваг у її субсолідусній області втрачається можливість прогнозування нових гетерогенних композиційних матеріалів.

Теоретичні положення та методи досліджень. Повної субсолідусної будови трикомпонентної системи $\text{CoO} - \text{NiO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ у літературі не виявлено.

Будови бінарних систем NiO - Al₂O₃ та CoO - Al₂O₃ вивчені достатньо авторами [6-10] та представлені на рис. 1-2.

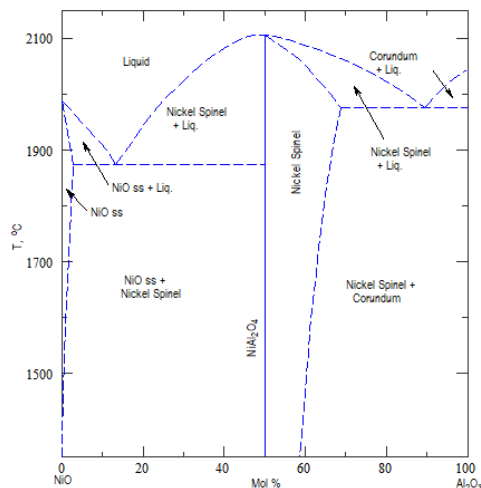


Рисунок 1 – Субсолідусна будова NiO - Al₂O₃

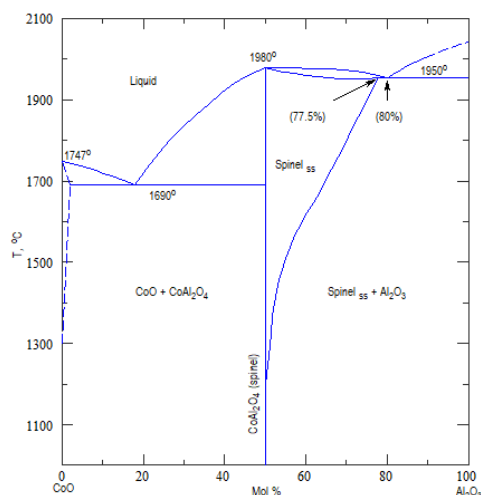


Рисунок 2 – Субсолідусна будова CoO - Al₂O₃

Авторами [6] досліджено алюмінат нікелю NiAl₂O₄, який синтезували із суміші кристалічних оксидів, а також під час нагрівання осаджених гідроксидів. Помітне утворення NiAl₂O₄ спостерігається за температури 700 °С; на рентгенограмах дифракційні максимуми цієї сполуки були ідентифіковані за температури 1000 °С. За 1100 °С відзначено повну взаємодію вихідних оксидів алюмінію і нікелю з утворенням зазначеної нікелевої шпінелі. Сполука NiAl₂O₄ кристалізується в кубічній системі ($\alpha = 80,4$ nm) має показник заломлення 1,875, плавиться за температури 2020 °С. За даними авторів,

Al₂O₃ має велику розчинність у NiAl₂O₄, а NiO у шпінелі фактично не розчиняється.

За літературними даними [9] у системі CoO - Al₂O₃ існує вузька область гомогенності поблизу CoO і досить широка поблизу шпінелі CoAl₂O₄ (рис. 2). У даній системі існує тільки одна стійка сполука CoAl₂O₄ – алюмокобальтова шпінель, температура плавлення якої 1980 °С, кристалізується в кубічній системі і має високий показник світлозаломлювання (вище 1,76). У шпінелі CoAl₂O₄ атоми Co²⁺ займають тетраедричну позицію, а атоми Al³⁺ – октаедричну позицію. Алюмокобальтова шпінель починаючи з 1400 °С утворює тверді розчини складу CoAl_{2+2x}O_{4+3x} і надає блакитний колір пігментам. Також вона є важливою для отримання каталізаторів високотемпературних процесів органічного синтезу, а магнітні властивості визначають перспективи її застосування для нових матеріалів електротехнічного призначення. Традиційним методом одержання алюмокобальтової шпінелі є твердофазний синтез при високих ($T \geq 1300$ °С) температурах.

Разом з тим, термодинамічно рівноважних комбінацій фаз системи, яка б одночасно містила обидві шпінелі, не встановлено, імовірно, через порівняно нещодавно отримані дані про термодинамічні властивості алюмокобальтової шпінелі [10]. Тому метою роботи є визначення субсолідусної будови трикомпонентної системи CoO - NiO - Al₂O₃ та аналіз елементів її будови по відношенню до технологічно значущих стадій синтезу тугоплавких неметалічних матеріалів.

Для встановлення стабільних конод у зазначеній системі застосовували термодинамічний та геометро-топологічний методи аналізів. Застосування цього методу дозволяє мінімізувати кількість необхідних термодинамічних розрахунків [4]. Для характеристики субсолідусної будови системи CoO - NiO - Al₂O₃ проведено розрахунок основних геометро-топологічних характеристик її фаз, що включають довжину коннод, площі елементарних трикутників, ступінь їх асиметрії, ймовірність існування фаз у системі CoO - NiO - Al₂O₃. Геометро-топологічні та статистичні розрахунки виконано відповідно до методики [11].

Результати розрахунків та їх обговорення. Для встановлення термодинамічно стабільних дво- і трифазних комбінацій у системі CoO - NiO - Al₂O₃ виконувалася її триангуляція за результатами розрахунків зміни енергії Гіббса (ΔG) обмінних реакцій. Для розрахунку залежності $\Delta G = f(T)$ використовувалася комп'ютерна програма в пакеті Microsoft Office Excel. Термодинамічні дані сполук системи CoO - NiO - Al₂O₃ за даними авторів [12, 13], представлені в табл.1.

Таблиця 1 - Термодинамічні дані сполук системи CoO – NiO - Al₂O₃.

Сполука	$-ΔH_{298}^{\circ}$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/моль·К	$C_p = a + b \cdot 10^{-3} \cdot T + c \cdot 10^5 \cdot T^{-2}$, Дж/ моль·К		
			a	b	c
CoAl ₂ O ₄	1948,9	101,7	149,03	30,54	27,32
NiO	239,74	37,99	46,78	8,46	-
CoO	238,9	52,97	48,28	8,535	-1,67
NiAl ₂ O ₄	1915,4	92,50	159,20	23,34	30,752

У підсистемах системи CoO - NiO - Al₂O₃ достовірно встановлено лише дві подвійні сполуки - кобальтову та нікелеву шпінелі (CoAl₂O₄ і NiAl₂O₄, відповідно), що передбачає єдину обмінну твердофазну реакцію:



Результати термодинамічних розрахунків твердофазної реакції, яка перебігає у системі CoO - NiO - Al₂O₃ представлені в табл. 2.

Таблиця 2 - Результати розрахунків значення зміни $ΔG=f(T)$.

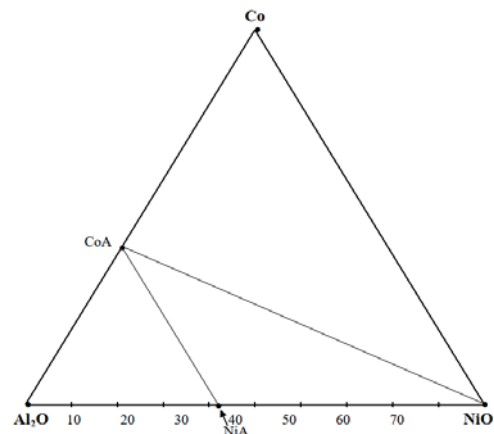
Реакція	Значення $ΔG$ (кДж/моль) при температурі T , (К)						
	800	1000	1200	1400	1600	1800	1900
1	25,94	22,89	19,65	16,30	12,90	9,49	7,79

У зв'язку з тим, що розраховані значення функції $ΔG=f(T)$ мають позитивні значення за всіх температур (від $T = 800$ до 1900 К, табл. 2), то термодинамічно переважним є зворотний напрямок перебігу реакції.

Таким чином співіснуючими є вихідні речовини, що забезпечує наявність конноди CoAl₂O₄ - NiO у субсолідусній будові системи (рис. 3). Коннода між кобальтовою та нікелевою шпінелями визначена топологічною однозначністю існування елементарних трикутників у триангульованій системі [14].

За результатами проведеного аналізу та розрахунків встановлено, що субсолідусна будова досліджуваної системи є дуже простою, представленою всього трьома елементарними трикутниками.

Основні геометро-топологічні характеристики (довжини коннод, площі елементарних трикутників, ступінь їх асиметрії, ймовірність існування фаз у системі CoO - NiO - Al₂O₃ наведені у табл. 3-5.

Рисунок 3 - Триангуляція системи CoO - NiO - Al₂O₃Таблиця 3 - Довжини коннод у системі CoO - NiO - Al₂O₃

№	Коннода	L , відн. од.
1	CoAl ₂ O ₄ -NiAl ₂ O ₄	0,4232
2	CoAl ₂ O ₄ -NiO	0,8694

Таблиця 4 - Площі елементарних трикутників системи CoO - NiO - Al₂O₃

№	Елементарний трикутник	Площа, відн.од.	Ступінь асиметрії, L_{max}/L_{min}
1	Al ₂ O ₃ -CoAl ₂ O ₄ -NiAl ₂ O ₄	0,1764	1,0021
2	NiO-CoAl ₂ O ₄ -NiAl ₂ O ₄	0,2436	2,0543
3	NiO-CoAl ₂ O ₄ -CoO	0,5800	1,7349
	Сумма	1,0000	
	Max	0,5800	
	Min	0,1764	

Таблиця 5 - Геометро-топологічна характеристика фаз системи CoO – NiO - Al₂O₃

№	Сполука	У скільки трикутниках існує	Зі скількома фазами співіснує	Сумарна площа існування, S, відн. од.	Імовірність існування, ω, відн. од.
1	NiO	2	3	0,8236	0,2745
2	CoO	1	2	0,5800	0,1933
3	Al ₂ O ₃	1	2	0,1764	0,0588
4	CoAl ₂ O ₄	3	4	1,000	0,3333
5	NiAl ₂ O ₄	2	3	0,4200	0,1400
	Сумма			3,000	1,000
	Max			1,000	0,3333
	Min			0,1764	0,0588

Довжини коннод різняться більш ніж у 2 рази (табл. 3), а елементарний трикутник Al₂O₃-CoAl₂O₄-NiAl₂O₄, що включає конноду CoAl₂O₄-NiAl₂O₄, має мінімальну площу (табл. 4). Разом з тим, цей елементарний трикутник близький до правильного і під час синтезу матеріалів із заданим фазовим складом у його концентраційній області не потрібні спеціальні заходи щодо точності дозування вихідних інгредієнтів, а час змішування порошкових композицій може бути обмеженим. Значні площі двох інших елементарних трикутників і невисокий ступінь асиметрії також вказують на відсутність істотних ризиків відхилення від заданого фазового складу синтезованих матеріалів через підготовчі технологічні стадії. При цьому нехтувати точністю дозування не слід у концентраційних областях з високим вмістом NiO, а також з високим вмістом алюмокобальтової шпінелі під час прогнозування фазового складу матеріалу, який належить елементарному трикутнику NiO-CoAl₂O₄-NiAl₂O₄, що має максимальну асиметрію в досліджуваній системі (рис. 3, табл. 4).

Алюмокобальтова шпінель співіснує з усіма сполуками в системі CoO - NiO - Al₂O₃, що забезпечує її максимальну ймовірність існування (табл. 5) у складі будь-яких трифазних комбінацій фаз. Тому CoAl₂O₄ можна вважати найбільш термодинамічно стабільною сполукою в досліджуваній системі. Алюмонікелева шпінель має меншу ймовірність існування (табл. 5), тому що не співіснує з CoO і не представлена в елементарному трикутнику з максимальною площею (див. рис. 3). Найменш вірогідною (табл. 5) є ідентифікація Al₂O₃ у складі гетерофазних комбінацій, що утворюються в синтезованих матеріалах з причин випадкового характеру - унаслідок відхилення від заданого фазового складу в разі недостатньо однорідного змішування інгредієнтів, за значної відмінності в гранулометрії (в міжзеренному просторі), густини початкових компонентів, стеричних чинників тощо [15].

Висновки. Таким чином, проведений аналіз та виконаний комплекс досліджень субсолідусної будови системи CoO – NiO - Al₂O₃ дозволяє теоретично прогнозувати різні термодинамічно стабільні комбінації сполук, керувати процесами синтезу та формувати заданий комплекс властивостей

у матеріалах зазначеної системи. Визначено, що субсолідусна будова системи CoO - NiO - Al₂O₃ порівняно проста та складає три елементарних трикутника. Аналіз площі та ступеня асиметрії елементарних трикутників вказують на відсутність істотних ризиків відхилення від заданого фазового складу синтезованих матеріалів через підготовчі технологічні стадії. Геометро-топологічний аналіз характеристик фаз системи CoO – NiO - Al₂O₃ надає можливість визначити, що алюмокобальтова шпінель має максимальну ймовірність існування у складі будь-яких трифазних комбінацій фаз. Алюмонікелева шпінель має меншу ймовірність існування, а найменш вірогідною є ідентифікація Al₂O₃ у складі гетерофазних комбінацій. Зазначимо, що під час синтезу матеріалів, які належать до цієї системи, необхідно враховувати встановлені в даному дослідженні особливості.

Список літератури

1. Kurdowski W. *Cement and Concrete Chemistry* / W. Kurdowski. – Heidelberg (DE): Springer Publ., 2014. – 700 p.
2. Older I. *Special Inorganic Cements* / I. Older. – London: E & FN Spon, 2000. – 376 p.
3. Su, N., Fang, H., Chen, Z., Liu, F. (2000) Reuse of waste catalysts from petrochemical industries for cement substitution. *Cement and Concrete Research*, Vol. 30 (11), p. 1773–1783.
4. Логвінков С.М. *Твердофазні реакції обміну в технології кераміки*: монографія / С.М. Логвінков – Харків: ХНЕУ, 2013. – 250 с.
5. *Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses* / Ed. by A. Riley. – Wilmington (USA): Scitus Academics, 2017. – 314 p.
6. Kuznetsov, V. & Materials Science International Team (MSIT®, ed. Effenberg, G.) (1993) *Al-Ni-O Ternary Phase Diagram Evaluation. Phase diagrams, crystallographic and thermodynamic data*: Datasheet from MSI Eureka in SpringerMaterials, https://materials.springer.com/msi/docs/sm_msi_r_10_01_4303_01
7. S. Klemme, J.C. van Miltenburg The Heat Capacities and Thermodynamic Properties of NiAl₂O₄ and CoAl₂O₄ Measured by Adiabatic Calorimetry from T

= (4 to 400) K. *J. Chem. Thermodynamic*, 2009. V. 41. P. 842 – 848.

8. Zaharko O., Christensen N. B., Cervellino A., Tsurkan V., Maljuk A., Stuhr U., Niedermayer C., Yokaichiya F. Spin liquid in a single crystal of the frustrated diamond lattice antiferromagnet CoAl_2O_4 . *Physical Review B*. 2011. Vol. 84. Iss.9. P. 094403.

9. Maljuk A., Tsurkan V., Zestrea V., Zaharko O. Floating-zone growth of large high-quality CoAl_2O_4 single crystals. *Journal of Crystal Growth*. 2009. Vol. 311(16). P. 3997–4000.

10. Ropp R.C. *Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds* // Richard C. Ropp. Amsterdam: Elsevier, 2013. 1187 p.

11. Бережний А.С. *Багатокомпонентні системи окислів*. Київ: Наукова думка, 1970. 541с.

12. Shabanova G.N., Korohodska A.N., Levadna S.V., Gamova O.A. Triangulation and Characterization of the Subsolidus Structure in the Systems CaO-CoO-MoO_3 , $\text{CoO-Al}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ and $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2019, No. 6, pp. 268-274.

13. Logvinkov S.M., Korohodska A.N., Shabanova G.N., Ivashura A.A., Ivashura M.N. Subsolidus structure of the Ni – Cr – O - Al_2O_3 system and justification of advanced composites. *Functional Materials*. Vol. 27, No 2 (2020). Pp. 363-367.

14. Логвінков С.М., Борисенко О.М., Цапко Н.С., Шабанова Г.М., Корогодська А.М., Шумейко В.М. Розрахункова оцінка ступеня складності субсолідусної будови трикомпонентних фізико-хімічних систем. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – № 2(4). – С. 57-67.

15. Logvinkov S.M., Borysenko O.M., Ivashura A.A., Shabanova H.M., Shumejko V.M., Korohodska A.M., Tsapko N.S. Solid-state exchange reactions during sintering of dispersed alumina. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2024, No. 1, pp. 48-54

References (transliterated)

1. Kurdowski W. *Cement and Concrete Chemistry* / W. Kurdowski. – Heidelberg (DE): Springer Publ., 2014. – 700 p.

2. Older I. *Special Inorganic Cements* / I. Older. – London: E & FN Spon, 2000. – 376 p.

3. Su, N., Fang, H., Chen, Z., Liu, F. (2000) Reuse of waste catalysts from petrochemical industries for cement substitution. *Cement and Concrete Research*, Vol. 30 (11), p. 1773–1783.

4. Logvinkov S.M. *Tverdofaznyye reaktsii obmena v tekhnologii keramiki [Solid state exchange reactions in ceramics technology]*. Kharkov, KhNEU Publ., 2013. 250 p.

5. *Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses* / Ed. by A. Riley. – Wilmington (USA): Scitac Academics, 2017. – 314 p.

6. Kuznetsov, V. & Materials Science International Team (MSIT®, ed. Effenberg, G.) (1993) *Al-Ni-O Ternary Phase Diagram Evaluation. Phase diagrams, crystallographic and thermodynamic data: Datasheet from MSI Eureka in SpringerMaterials*, https://materials.springer.com/msi/docs/sm_msi_r_10_01_4303_01

7. S. Klemme, J.C. van Miltenburg The Heat Capacities and Thermodynamic Properties of NiAl_2O_4 and CoAl_2O_4 Measured by Adiabatic Calorimetry from T = (4 to 400) K. *J. Chem. Thermodynamic*, 2009. V. 41. P. 842 – 848.

8. Zaharko O., Christensen N. B., Cervellino A., Tsurkan V., Maljuk A., Stuhr U., Niedermayer C., Yokaichiya F. Spin liquid in a single crystal of the frustrated diamond lattice antiferromagnet CoAl_2O_4 . *Physical Review B*. 2011. Vol. 84. Iss.9. P. 094403.

9. Maljuk A., Tsurkan V., Zestrea V., Zaharko O. Floating-zone growth of large high-quality CoAl_2O_4 single crystals. *Journal of Crystal Growth*. 2009. Vol. 311(16). P. 3997–4000.

10. Ropp R.C. *Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds* // Richard C. Ropp. Amsterdam: Elsevier, 2013. 1187 p.

11. Berezhnoy A.S. *Mnogokomponentnye sistemy okislov [Multicomponent oxide systems]*. Kiev: Naukova Dumka [Scientific thought], 1970. 544 p.

12. Shabanova G.N., Korohodska A.N., Levadna S.V., Gamova O.A. Triangulation and Characterization of the Subsolidus Structure in the Systems CaO-CoO-MoO_3 , $\text{CoO-Al}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ and $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2019, No. 6, pp. 268-274.

13. Logvinkov S.M., Korohodska A.N., Shabanova G.N., Ivashura A.A., Ivashura M.N. Subsolidus structure of the Ni – Cr – O - Al_2O_3 system and justification of advanced composites. *Functional Materials*. Vol. 27, No 2 (2020). Pp. 363-367.

14. Logvinkov S.M., Borysenko O.M., Tsapko N.S., Shabanova H.M., Korohodska A.M., Shumejko V.M. Rozrakhunkova otsinka stupenia skladnosti subsolidusnoi budovy trykomponentnykh fizyko-khimichnykh system [Calculation estimation of the degree of complexity of the subsolidus structure of three-component physicochemical systems]. *Visnyk NTU «KhPI». Seriya Khimiia, khimichni tekhnologii ta ekolohiia [Bulletin of NTU "KhPI". Series: Chemistry, chemical technologies and ecology]*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2020. № 2(4). P. 57-67.

15. Logvinkov S.M., Borysenko O.M., Ivashura A.A., Shabanova H.M., Shumejko V.M., Korohodska A.M., Tsapko N.S. Solid-state exchange reactions during sintering of dispersed alumina. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2024, No. 1, pp. 48-54

Надійшла (received) 21.02.2024

Відомості про авторів / About the Authors

Христич Олена Валеріївна (Khrystych Olena) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», докторант кафедри загальної та неорганічної хімії, м. Харків, Україна; Тел.: +38(095)577-24-50; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2190-1492>; e-mail: el-green@ukr.net

Корогодська Алла Миколаївна (Korohodska Alla) – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри загальної та неорганічної хімії, м. Харків, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1534-2180>; E-mail: Alla.Korohodska@khpi.edu.ua

Шабанова Галина Миколаївна (Shabanova Halyna) - доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, м. Харків, Україна; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7204-940X>; e-mail: gala-shabanova@ukr.net

Логвінков Сергій Михайлович (Logvinkov Sergey) - доктор технічних наук, професор, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, професор кафедри готельного і ресторанного бізнесу, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5957-2386>; e-mail: Sergii.Logvinkov@m.hneu.edu.ua