УДК 666.941 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.161.2016.76731

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ НА ОТРИМАННЯ КЛІНКЕРНИХ МІНЕРАЛІВ У ДОЛОМІТОВОМУ КЛІНКЕРІ

Д-р техн. наук В. І. Вінниченко (ХНУБА),
кандидати техн. наук Н. Ю. Віценко, О. М. Рязанов (ПДАБА)

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ЭНЕРГИИ НА ПОЛУЧЕНИЕ КЛИНКЕРНЫХ МИНЕРАЛОВ В ДОЛОМИТОВОМ КЛИНКЕРЕ

Д-р техн. наук В. И. Винниченко (ХНУСА),
кандидаты техн. наук Н. Ю. Виценко, А. Н. Рязанов (ПГАСА)

THEORETICAL DEFINITION OF ENERGY CONSUMPTION FOR CLINCER MINERALS IN THE DOLOMITE CLINKER

Dr. Sc. Science V. I. Vinnichenko, candidates techn. sciences N. YU. Vitsenko,
A. N. Ryazanov

Виконано аналіз можливості зниження енергетичних витрат на теплову обробку доломітового клінкеру шляхом оцінки теоретичних витрат енергії на процес. Розглянуто зміни ентальпії хімічних реакцій утворення основних мінералів. Установлено, що з найбільшою термодинамічною вірогідністю відрізняються реакції, продуктами яких є двокальцієвий силікат, трикальцієвий алюмінат та моноалюмінат кальцію, поява органіки у сировинній суміші сприяє зменшенню зміни ентальпії хімічних реакцій.

Ключові слова: *конкурентоспроможність, доломітовий цемент, випал клінкеру, термодинамічна вірогідність, хімічні реакції, теплова енергія, енергоефективність, ентальпія, двокальцієвий силікат, відходи доломіту, відходи збагачення вугілля, теплова обробка, зниження витрат тепла.*

Выполнен анализ возможности снижения энергетических затрат на тепловую обработку доломитового клинкера путем оценки теоретических затрат энергии на процесс. Рассмотрены изменения энтальпии химических реакций образования основных минералов. Установлено, что с наибольшей термодинамической вероятностью отличаются реакции, продуктами которых являются двухкальциевый силикат, трехкальциевый алюминат и моноалюминат кальция, появление органики в сырьевой смеси способствует уменьшению изменения энтальпии химических реакций.

Ключевые слова: *конкурентоспособность, доломитовый цемент, обжиг клинкера, термодинамическая вероятность, химические реакции, тепловая энергия, энергоэффективность, энтальпия, двухкальциевый силикат, отходы доломита, отходы обогащения угля, тепловая обработка, снижение затрат тепла.*

The analysis that dolomite cements produced at the present time salt solutions, so it is not competitive because of high prices of salt. A burning dolomite clinker requires a much lower cost thermal energy than Portland. The analysis can reduce energy costs to heat treatment dolomite clinker by assessing the theoretical energy costs in the process. Considered enthalpy change of formation of chemical reactions essential minerals that are capable of binding agent the ability to gain strength when mixed with water. Thermodynamic probability of chemical reactions, which

considered only the interaction of mineral components mixture. Found that the most likely different reaction products which are C_2S, S_3A and SA. It was established that the emergence of organics in the raw mixture reduces the enthalpy change of chemical reactions. Reducing the enthalpy of chemical reactions provides a theoretical reduction of the heat energy for clinker burning process because the enthalpy of a chemical reaction is directly proportional to the theoretical costs of heat.

Keywords: *competitiveness, dolomitic cement clinker burning, the thermodynamic probability of chemical reactions, thermal energy, energy efficiency, enthalpy, dicalcium silicate, dolomite, waste, coal tailings, heat treatment, heat cost reduction.*

Вступ. Одним із найважливіших чинників, які спроможні забезпечити конкурентоспроможність будівельних матеріалів, є витрати енергії на одиницю готової продукції, які значно впливають на собівартість матеріалів. Крім того, при зменшенні витрат теплової енергії знижується навантаження на навколишнє середовище. Це пояснюється меншими викидами парниковоутворюючих газів в атмосферу при згорянні палива.

Ураховуючи зазначене, енергозбереження є однією з найважливіших актуальних проблем сучасності. Виробництво цементу є вкрай енерговитратним. У технології виробництва цементу найбільші витрати теплової енергії спостерігаються на стадії випалу клінкеру [1]. Тому сучасна наука постійно шукає шляхи зниження енергоємності виробництва цементного клінкеру.

Останнім часом увагу дослідників привертають доломітові цементи [2–4], оскільки вони мають не тільки унікальні властивості, але й потребують менше теплової енергії на процес теплової обробки, ніж портландцементні [5–7]. Але вони замішуються розчинами солі, що значно збільшує собівартість продукції і робить доломітові цементи неконкурентоспроможними.

Аналіз досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток наукової теорії створення доломітового цементу зроблено видатними вченими [8–11].

Наукові підходи до створення таких цементів були спрямовані на отримання в’яжучих, які не набирали міцності при змішуванні з водою, а потребували як замішувачі використання соляних розчинів [12, 13].

Комплексному підходу з оцінкою підвищення енергоефективності виробництва таких в’яжучих уваги майже не приділяється.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є аналіз можливості зниження енергетичних витрат на теплову обробку шляхом оцінки теоретичних витрат енергії на процес. Задля цього необхідно розглянути зміни ентальпії хімічних реакцій утворення основних мінералів, які здатні надати в’яжучому спроможність набирати міцності при замішуванні водою з появою гідросилікатів кальцію.

Основна частина дослідження. Необхідні умови порівняння термодинамічної вірогідності утворення мінералів при протіканні хімічних реакцій сформульовані Бабушкіним В. І., Матвєєвим Г. М. і Мчедловим–Петросяном О. П. [14]. Сутність умов у тому, що для всіх реакцій, які розглядаються, у лівій частині рівнянь хімічних реакцій беруть однакову кількість вихідних речовин. Тоді значення змін ентальпії реакцій кінцевих продуктів стає таким, що їх можливо зіставити.

Термічні константи речовин, які використані при здійсненні аналізу й наведені у таблиці, взято із джерел [14–17].

Таблиця

Термічні константи речовин

Формула	$\Delta H^{\circ}_{298,15}$, ккал/ моль	$\Delta G^{\circ}_{298,15}$, ккал/ моль	Cp = f (t)		
			a	$b \cdot 10^{3}$	$c' \cdot 10^{-5}$
$CaCO_3$	288,45	269,78	24,98	5,24	-6,2
$MgCO_3$	266	246	18,62	13,8	-4,16
Al_2O_3 $2SiO_2$ $2H_2O$	984	907,4	57,47	35,3	-7,86
2 β-$CaO \cdot SiO_2$	551,74	524,19	36,25	8,83	-7,24
$MgO \cdot SiO_2$	370,25	349,48	24,56	4,74	-6,23
Al_2O_3	400,48	378,2	27,4	3,06	-8,47
CO_2	94,05	94,26	10,55	2,16	-2,04
H_2O	68,315	56,687	12,65	11,38	1,73
SiO_2	217,75	204,75	11,22	8,2	-2,7
$MgO \cdot Al_2O_3$	546,054	549,9	36,8	6,4	-9,78
MgO	143,84	136,13	10,18	1,74	-1,48
Al_2O_3 $SiO_{2\ андалузит}$	619,57	584,72	41,22	6,24	-12,22
Al_2O_3 $SiO_{2\ кіаніт}$	620,11	585,91	41,05	6,98	-12,46
Al_2O_3 $SiO_{2\ силіманіт}$	618,83	583,75	39,3	8,04	-11,02
$3Al_2O_3$ $2SiO_2$	1631,62	1539,98	115,9	11,2	-37
Al_2O_3 $2SiO_2$	807,46	758,46	7,06	5,1	-4,87
CaO Al_2O_3	556,18	527,7	36,01	9,98	-7,96
3CaO Al_2O_3	851	808,4	62,28	4,58	-12,09
CaO MgO $2SiO_2$	765,46	723,837	52,87	7,84	-15,74
CaO MgO SiO_2	540,88	512,776	34,54	9,21	6,81
2CaO MgO $2SiO_2$	926,66	879,49	60,9	11,40	11,40
3CaO Al_2O_3 $2SiO_2$	1091,64	1037,332	72,97	11,96	14,44
2CaO Al_2O_3 SiO_2	945,55	898,74	53,73	17,68	-0,89

Для визначення термодинамічної вірогідності протікання хімічних реакцій складено рівняння (1–14), у яких розглянуто взаємодію тільки мінеральних складових суміші:

1) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3$ $2SiO_2$ $2H_2O = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO \cdot SiO_2) + MgO \cdot SiO_2 +$
$+ Al_2O_3 + 2CO_2 + 2H_2O + 0,5SiO_2$;
2) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3$ $2SiO_2$ $2H_2O = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO \cdot SiO_2) + MgO \cdot Al_2O_3 +$
$+ 1,5SiO_2 + 2CO_2 + 2H_2O$;
3) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3$ $2SiO_2$ $2H_2O = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO \cdot SiO_2) + MgO +$
$+ Al_2O_3$ $SiO_{2\ андалузит} + 2CO_2 + 2H_2O + 0,5SiO_2$;
4) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3$ $2SiO_2$ $2H_2O = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO$ $SiO_2) + MgO +$
$+Al_2O_3$ $SiO_{2\ кіаніт} + 2CO_2 + 2H_2O + 0,5SiO_2$;
5) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3$ $2SiO_2$ $2H_2O = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO$ $SiO_2) + MgO +$
$+Al_2O_3$ $SiO_{2\ силіманіт} + 2CO_2 + 2H_2O + 0,5SiO_2$;
6) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3$ $2SiO_2$ $2H_2O = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO$ $SiO_2) + MgO +$
$+1/3(3Al_2O_3$ $2SiO_{2\ мулліт}) + 5/6SiO_2 + 2CO_2 + 2H_2O$;
7) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3$ $2SiO_2$ $2H_2O = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO$ $SiO_2) + MgO +$
$+0,5(Al_2O_3$ $2SiO_2) + 0,5Al_2O_3 + 2CO_2 + 2H_2O$;

8) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O = CaO \quad Al_2O_3 + MgO \quad SiO_2 + SiO_2 + 2CO_2 + 2H_2O$;
9) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O = 1/3(3CaO \quad Al_2O_3) + 2/3Al_2O_3 +$
$+ MgO \quad SiO_2 + SiO_2 + 2CO_2 + 2H_2O$;
10) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O = CaO \quad MgO \quad 2SiO_2 + Al_2O_3 + 2CO_2 + +2H_2O$;
11) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O = CaO \quad MgO \quad SiO_2 + Al_2O_3 + 2CO_2 + 2H_2O$;
12) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O = 1/2(2CaO \quad MgO \quad 2SiO_2) +$
$+ 0,5(MgO \quad Al_2O_3) + 0,5(Al_2O_3 \quad 2SiO_2) + 2CO_2 + 2H_2O$;
13) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O = 1/3(3\ CaO \quad Al_2O_3 \quad 2SiO_2) +$
$+2/3(MgO \quad Al_2O_3) + 1/2(Al_2O_3 \quad SiO_2) + 2CO_2 + 2H_2O+2/3SiO_2$;
14) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O = 1/2(2CaO \quad Al_2O_3 \quad SiO_2) +$
$+0,5Al_2O_3 + MgO \quad SiO_2 + 2CO_2 + 2H_2O$.

Як видно з графіка (рис. 1), найбільшою вірогідністю відрізняються реакції 2, 9 та 8, продуктами яких є двокальцієвий силікат, трикальцієвий алюмінат та моноалюмінат кальцію. Це свідчить про те, що в суміші відходів доломіту та відходів збагачення вугілля можливе утворення клінкерних мінералів, які мають здатність тверднути при використанні води як замішувача.

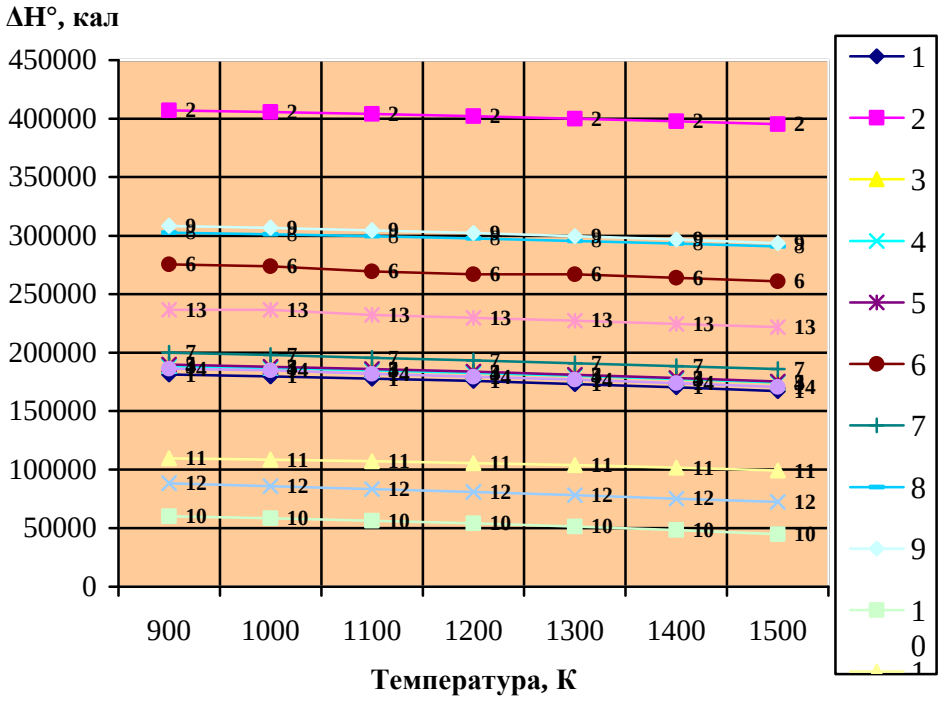

Рис. 1. Вплив температури на зміну ентальпії реакцій 1–14

З метою встановлення впливу органічної складової суміші на процес протікання реакцій у мінеральній складовій тієї ж суміші при різних температурах наведено реакції (15-28) – рис. 2:

15) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO{\cdot}SiO_2) +$
$+ MgO{\cdot}SiO_2 + Al_2O_3 + 3CO_2 + 2H_2O+0,5SiO_2$;
16) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 0,5(2\ \beta\text{-}CaO{\cdot}SiO_2) +$
$+ MgO{\cdot}Al_2O_3 \ +1,5\ SiO_2 + 3CO_2 + 2H_2O$;

17) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 0{,}5(2\ \beta\text{-}CaO \cdot SiO_2) + MgO +$
$+ Al_2O_3 \quad SiO_2 + 3CO_2 + 2H_2O + 0{,}5SiO_2$;
18) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 0{,}5(2\ \beta\text{-}CaO \quad SiO_2) + MgO +$
$+ Al_2O_3 \quad SiO_2 + 3CO_2 + 2H_2O + 0{,}5SiO_2$;
19) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2\ 2H_2O + C + O_2 = 0{,}5(2\ \beta\text{-}CaO \quad SiO_2) + MgO +$
$+ Al_2O_3 \quad SiO_2 + 3CO_2 + 2H_2O + 0{,}5SiO_2$;
20) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2\ 2H_2O + C + O_2 = 0{,}5(2\ \beta\text{-}CaO \quad SiO_2) + MgO +$
$+ 1/3(3Al_2O_3 \quad 2SiO_2) + 5/6SiO_2 + 3CO_2 + 2H_2O$;
21) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 0{,}5(2\ \beta\text{-}CaO \quad SiO_2) + MgO +$
$+ 0{,}5(Al_2O_3 \quad 2SiO_2) + 0{,}5Al_2O_3 + 3CO_2 + 2H_2O$;
22) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = CaO \quad Al_2O_3 + MgOSiO_2 + SiO_2 +$
$+ 3CO_2 + 2H_2O$;
23) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 1/3(3CaO \quad Al_2O_3) + 2/3Al_2O_3 +$
$+ MgO \quad SiO_2 + SiO_2 + 3CO_2 + 2H_2O$;
24) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = CaO \quad MgO \quad 2SiO_2 + Al_2O_3 + 3CO_2 + 2H_2O$;
25) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = CaO \quad MgO \quad SiO_2 + Al_2O_3 + 3CO_2 + 2H_2O$;
26) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 1/2(2CaO \quad MgO \quad 2SiO_2) +$
$+ 0{,}5(MgO \quad Al_2O_3) + 0{,}5(Al_2O_3\ 2SiO_2) + 3CO_2 + 2H_2O$;
27) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 1/3(3CaO \quad Al_2O_3 \quad SiO_2) +$
$+ 2/3(MgOAl_2O_3) + 1/2(Al_2O_3 \quad SiO_2) + 3CO_2 + 2H_2O + 2/3SiO_2$;
28) $CaCO_3 + MgCO_3 + Al_2O_3 \quad 2SiO_2 \quad 2H_2O + C + O_2 = 1/2(2CaO \quad Al_2O_3 \quad SiO_2) +$
$+ 0{,}5Al_2O_3 + MgO \quad SiO_2 + 3CO_2 + 2H_2O$.

Якщо розглянути, наприклад, реакцію 2 з рис. 1 та порівняти її з реакцією 16 з рис. 2, то стає зрозуміло, що утворення тих же твердих продуктів реакцій у випадку появи органіки у сировинній суміші сприяє зменшенню зміни ентальпії хімічної реакції. Крім названих реакцій і всі інші реакції потребують менше теплової енергії для здійснення.

Порівнявши між собою отримані результати термодинамічного аналізу, можна сказати, що наявність у сировинній суміші органічної складової сприяє зменшенню ентальпії хімічних реакцій утворення первинних клінкерних мінералів. А оскільки при переведенні ентальпії хімічних реакцій мінералів в одиницю кілоджоуль на кілограм клінкеру ця величина стає теоретичною питомою витратою тепла на випал одного кілограма клінкеру, то можна зробити висновок, що фактичні витрати тепла на випал доломітового клінкеру теж будуть знижені.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Виконана термодинамічна оцінка вірогідності утворення первинних клінкерних мінералів, здатних взаємодіяти з водою з утворенням гідросилікатів. Показано, що при наявності у сировинній суміші органічної складової синтез β-двокальцієвого силікату і трикальцієвого алюмінату термодинамічно вірогідний з меншими витратами енергії на утворення мінералів. Тому цей напрямок дослідження є дуже цікавим для подальшого вивчення.

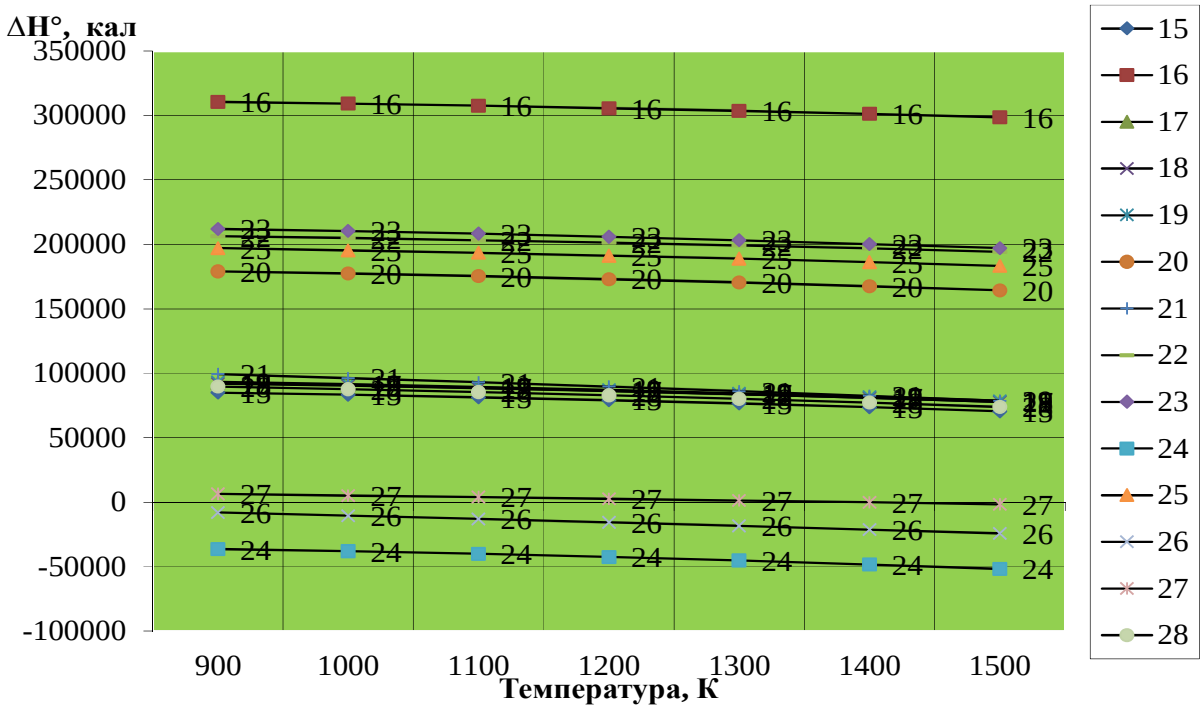

Рис. 2. Вплив температури на зміну ентальпії реакцій 15–28

Список використаних джерел

1. Duda, Walte H. Cement-Data-Book [Text] / Walter H. Duda // Bauverlag GmbH Wiesbaden and Berlin. – 1977, – P. 363-365.

2. Зырянова, В. Н. Композиционные магнезиальные вяжущие материалы [Текст] / В. Н. Зырянова, Г. И. Бердов, Н. И. Тюленева // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Самара, 2007. – С. 189.

3. Дослідження продуктів гідратації магнезіального в’яжучого на основі каустичного доломіту [Текст] / Г. М. Шабанова, В. В. Тараненкова, Г. Л. Смаль [і др.] // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №32. – С.184-188.

4. Шабанова, Г. М. Високоефективні магнезіальні в’яжучі матеріали на основі вітчизняної сировини [Текст] / Г. М. Шабанова // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип.138. – С. 148-154.

5. Борисов, И. Н. Энергоэффективные строительные материалы на основе доломита и угольных отходов [Текст] / И. Н. Борисов, В. И. Винниченко, А. Н. Рязанов // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. статей БГТУ им. Шухова. – Белгород, 2013. – Вып. XX. – С. 114–117.

6. Доломитовый цемент, затворяемый водой [Текст] / А. А. Плугин, В. И. Винниченко, О. С. Борзяк, А. Н Рязанов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип.143. – С. 87-97.

7. Рязанов, А. Н. Теоретическое обоснование.комплексного использования доломита и угольных отходов для получения строительных материалов [Текст] / А. Н Рязанов,

В. И. Винниченко, А. А. Плугин // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип.138. – С. 77-85.

8. Sorel, S. Improved composition to be used as a Cement and as a Plastic Material for Molding Various Articles [Text] / S. Sorel // United States Patent Office. Patent 53/092, 6 March, 1866, Paris, France.

9. Байков, А. А. Каустический магнезит, его свойства и отвердевание [Текст] / А. А. Байков // Журнал русского металлургического общества. – 1913. – №1. – С. 207.

10. De Wolff, P.M. Hydratations prozesse und Erhartungs eigenschaften in Systemen MgO-$MgCl_2$ [Text] / P. M. De Wolff, M. L. Walter – Levy // Zement-Kalk-Gips.– 1953, – II. №4. – P. 125-137.

11. Kasai, J. Mechanism of the Hydration of Magnesia Cement [Text] / J. Kasai, M. Ichiba, Nakanara M. //J. of Chem. Soc. of Japan, 1956. –Vol. 63, № 7. – P. 1182 -1184.

12. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А. В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 70-99.

13. Mazuranic, C. Magnesium oxychloride cementobtained from partially calcined dolomite [Text] / C. Mazuranic, H. Biliuski., B. Matcovic //J. Amer. Ceram. Soc, 1982. – Vol. 65. – № 10. - P. 523-526.

14. Бабушкин, В. И. Термодинамика силикатов [Текст] / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян. – М.: Госстройиздат, 1965. – 352 с.

15. Глушко, В. П., Термические константы веществ [Текст]: справочник в 10 вып. Вып. IV (C, Si, Ge, Sn, Pb). Ч. I. Таблицы принятых значений / В. П. Глушко. – М.: ВИНИТИ, 1970. – 510 с.

16. Ландия, Н. А. Расчет высокотемпературных теплоемкостей твердых неорганических веществ по стандартной энтропии [Текст] / Н. А. Ландия. – Тбилиси, 1962. – 224 с.

17. Наумов, Г. Б. Справочник термодинамических величин (для геологов) [Текст] / Г. Б. Наумов, Б. Н. Рыженко, И. Л. Ходаковский. – М.: Атомиздат, 1971. – 240 с.

Вінніченко Варвара Іванівна, д-р техн. наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (057) 717-80-17. E-mail: vvinnichenko@ukr.net.

Віценко Наталія Юріївна, канд. техн. наук, старш. наук. співробітник кафедри технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій Придніпровської державної академії будівництва і архітектури. E-mail: vitsenko.n@ukr.net.

Рязанов Олександр Миколайович, канд. техн. наук, старш. наук. співробітник кафедри технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій Придніпровської державної академії будівництва і архітектури. E-mail: aryazanov@hotmail.com.

Varvara Vinnichenko, Dr. Sc. Sciences, Professor, Department of mechanization of construction processes of the Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. E-mail: vvinnichenko@ukr.net.

Natalia Vitsenko, Cand. Techn. Sciences, senior researcher of department of building materials, products and structures technology of Prydniprovs'ka state academy of civil engineering and architecture. E-mail: vitsenko.n@ukr.net.

Alexander Ryazanov, Cand. Techn. Sciences, Senior Researcher of Department of Building Materials, Products and Structures Technology of Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, E-mail: aryazanov@hotmail.com.

Стаття прийнята 10. 05. 2016р.