

УДК 666.9017:[691.311+661.872'053.2-12]
DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.290920.21.665

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ГІДРАТОВАНОГО ГІПСОВОГО В'ЯЖУЧОГО

ГРИШКО Г. М., *канд. техн. наук, доц.*

Кафедра цивільної інженерії, технології будівництва та захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: gryshko.anna0101@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

Анотація. Актуальність. Українські та зарубіжні фахівці, включаючи працівників охорони здоров'я, вважають гіпс найефективнішим матеріалом завдяки його специфічним властивостям. За своїми якостями, екологічній чистоті важко знайти більш підходящий матеріал, що забезпечує комфортні умови для життєдіяльності людини. Виробництво будівельних матеріалів на основі гіпсового в'язучого не має шкідливих відходів і викидів, тому не створює проблем для навколишнього середовища. До того ж, на виробництво гіпсових в'язучих витрачається у 3...5 разів менше енергії порівняно з вапном і цементом. Ці переваги спонукають дослідників повертатись до спроб одержання гіпсової структури із властивостями цементних в'язучих речовин. Один із напрямків формування такої структури – дослідження впливу добавок на процес гідратації. Особливо великий інтерес викликає використання пластифікаторів у цій сфері досліджень. **Постановка проблеми.** Процес структуроутворення в загальному вигляді залежить від початкового складу в'язучих речовин і речовин, які взаємодіють у процесі гідратації. Аналіз технічної літератури показує, що у виготовленні мінеральних в'язучих речовин перевага віддається створенню композиційних в'язучих, а у другу чергу – використанню різних добавок і факторів впливу на процес гідратації. Більшість досліджень з використанням добавок пов'язано зі структуроутворенням гіпсових та цементних матеріалів із метою поліпшення фізико-механічних властивостей. Аналіз літератури показав недостатню наявність інформації про механізм процесу гідратації та вплив пластифікаторів на структуроутворення мінеральних в'язучих речовин. **Мета статті** – визначення впливу поверхнево-активних речовин (ПАР) на механізм процесу гідратації та структуроутворення гіпсових в'язучих. **Висновок.** У результаті проведених досліджень визначено вплив ПАР на структуру і властивості гідратованого гіпсового в'язучого, а також виділено найбільш ефективні добавки, що дозволяють значно знизити водогіпсове співвідношення, підвищити показники міцності та отримати в'язуче більш щільної структури. За вирощування кристалів, утворених розчином $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$, мікроструктура гіпсових зразків волокниста із значною кількістю пор. За зустрічного вирощування кристалів гіпсу за присутності поверхнево-активних речовин на мікрофотографіях спостерігається заростання порожнин між шарами. Ріст кристалів починається з однієї точки, що пов'язано зі зміною поверхневого натягу. Дослідження показали, що пластифікатори сприяють росту кристалів і залежно від типу добавки можна змінювати поверхневу енергію кристалів, що дозволить впливати на структуру затверділого в'язучого. Найкращі результати спостерігаються за умови використання пластифікаторів Sika і ACE 430. Рентгеноструктурний аналіз одержаних кристалів $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ показав, що інтенсивність процесу гідратації в'язучого пов'язана із впливом добавок на форму та розміри кристалів двоводного сульфату кальцію і залежить від поверхневої енергії грані.

Ключові слова: *гіпсове в'язуче; поверхнево-активна речовина; добавка; гідратація; структуроутворення; поверхнева енергія*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ГИДРАТИРОВАННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

ГРИШКО А. Н., *канд. техн. наук, доц.*

Кафедра гражданской инженерии, технологии строительства и защиты окружающей среды, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Сергея Ефремова, 25, 49600, Днепро, Украина, e-mail: gryshko.anna0101@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

Аннотация. Актуальность. Украинские и зарубежные специалисты, включая работников здравоохранения, считают гипс наиболее эффективным материалом благодаря его специфическим свойствам. По своим качествам, экологической чистоте трудно найти более подходящий материал, обеспечивающий комфортные условия для жизнедеятельности человека. Производство строительных материалов на основе гипсового вяжущего не имеет вредных отходов и выбросов, поэтому не создает проблем для окружающей среды. К тому же на производство гипсовых вяжущих тратится в 3...5 раз меньше энергии по сравнению с известью и цементом. Эти преимущества побуждают исследователей возвращаться к попыткам получения гипсовой структуры со свойствами цементных вяжущих веществ. Одним из направлений формирования такой структуры является исследование влияния добавок на процесс гидратации. Особенно большой интерес вызывает использование пластификаторов в данной области исследований. **Постановка проблемы.** Процесс структурообразования в общем виде зависит от начального состава вяжущих веществ и веществ, которые взаимодействуют в процессе гидратации. Анализ технической литературы показывает, что при изготовлении минеральных вяжущих веществ предпочтение отдается созданию композиционных вяжущих, а во вторую очередь – использованию различных добавок и факторов влияния на процесс гидратации. Большинство исследований с использованием добавок связано со структурированием гипсовых и цементных материалов с целью улучшения физико-механических свойств. Анализ литературы показал недостаточное наличие информации о механизме процесса гидратации и влиянии пластификаторов на структурообразование минеральных вяжущих веществ. **Цель статьи** – определение влияния поверхностно-активных веществ (ПАВ) на механизм процесса гидратации и структурообразования гипсовых вяжущих. **Вывод.** В результате проведенных исследований определено влияние ПАВ на структуру и свойства гидратированного гипсового вяжущего, а также выделены наиболее эффективные добавки, позволяющие значительно снизить водогипсовое соотношение, повысить показатели прочности и получить вяжущее более плотной структуры. При выращивании кристаллов, образованных раствором $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$, микроструктура гипсовых образцов является волокнистой с большим количеством пор. При встречном выращивании кристаллов гипса в присутствии поверхностно-активных веществ на микрофотографиях наблюдается зарастание пустот между слоями. Рост кристаллов начинается с одной точки, что связано с изменением поверхностного натяжения. Исследования показали, что пластификаторы способствуют росту кристаллов и в зависимости от типа добавки можно менять поверхностную энергию кристаллов, что позволит влиять на структуру затвердевшего вяжущего. Наилучшие результаты наблюдаются при использовании пластификаторов Sika и ACE 430. Рентгеноструктурный анализ полученных кристаллов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ показал, что интенсивность процесса гидратации вяжущего связана с влиянием добавок на форму и размеры кристаллов двуводного сульфата кальция и зависят от поверхностной энергии грани.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее; поверхностно-активное вещество; добавка; гидратация; структурообразование; поверхностная энергия

STUDY OF THE IMPACT OF SURFACTANTS ON THE STRUCTURE FORMATION OF HYDRATED GYPSUM BINDER

HRYSYSHKO H.M., *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

Department of Civil Engineering, Construction Technology, and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25 Serhii Efremov St., 49600, Dnipro, Ukraine, e-mail: gryshko.anna0101@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

Abstract. Relevance. Ukrainian and foreign researches consider gypsum the most effective material due to its peculiar properties. You can hardly find a material like this that would have the same characteristics, sustainability, and ensure adequate standard of living. The production of building materials based on gypsum binders is not associated with hazardous wastes and emissions and does not cause negative environmental impacts. Besides, the manufacture of gypsum binders requires 3...5 times less energy compared to lime and cement. These advantages encourage researchers to proceed with further attempts to obtain a gypsum structure exhibiting the properties of cement binders. One of the trends involving the formation of this kind of structure is studying the impact of additives on the hydration process. The use of plasticizers is of particular interest in this research area. **Problem statement.** Structure formation process generally depends on the initial content of binding substances and substances interacting during the hydration process. The analysis of technical publications shows that production of composite binders is a priority in the manufacture of mineral binders. A second priority is the use of various additives and factors affecting the hydration process. Most studies using additives involve the structuring of gypsum- and cement-based materials in order to improve physical and mechanical properties. The literature review conducted shows that there is insufficient information on the hydration process mechanism and impact of plasticizers on the structure formation of mineral binders. **The purpose of the article.**

Assessing the effects of surfactants on the mechanism of structure formation and hydration processes in gypsum binders. **Conclusion.** The studies conducted helped to identify the effects of surfactants on the structure and properties of hydrated gypsum binder; furthermore, the most effective additives were identified, allowing to reduce water-to-gypsum ratio significantly, improve strength values, and obtain a binder with a higher density structure. If crystals are grown using $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$ solution, gypsum specimens will have a high-porosity fibrous microstructure. During counterdiffusion growth of gypsum crystals in the presence of surfactants, filling of interlayer voids can be observed in the microphotographs. Crystals begin to grow from one point, which is due to changes in surface tension. The studies have revealed that plasticizers promote the growth of crystals and the surface energy can be modified depending on the type of additive, which can affect the hardened binder structure. The best results have been achieved with Sika and ACE 430 plasticizers. The X-ray diffraction analysis of the produced $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ crystals has shown that binder hydration process intensity is related to the impact of additives on the shape and size of calcium sulfate crystals and calcium sulfate dihydrate and depends on facial surface energy.

Keywords: gypsum binder; surfactant; additive; hydration; structure formation; surface energy

Актуальність. Українські та зарубіжні фахівці, включаючи працівників охорони здоров'я, вважають гіпс найефективнішим матеріалом завдяки його специфічним властивостям.

За своїми якостями, екологічною чистотою це найбільш підходящий матеріал, що забезпечує комфортні умови для життєдіяльності людини. Виробництво будівельних матеріалів на основі гіпсового в'язучого не має шкідливих відходів і викидів, тому не створює проблем для навколишнього середовища. До того ж, на виробництво гіпсових в'язучих витрачається у 3...5 разів менше енергії порівняно з вапном і цементом [1–4].

Ці переваги спонукають дослідників повертатись до спроб одержання гіпсової структури із властивостями цементних в'язучих речовин.

Один із напрямків формування такої структури – дослідження впливу добавок на процес гідратації. Особливо великий інтерес викликає використання пластифікаторів у цій сфері досліджень.

Аналіз літератури. Вивченням впливу добавок на твердіння та формування структури неводостійких гіпсових в'язучих займалися О. О. Пащенко, В. Д. Глуховський, Р. Ф. Рунова, П. В. Кривенко, М. А. Саницький, А. В. Ушеров-Маршак, В. Б. Ратінов, К. Н. Рожкова, Т. І. Розенберг, П. Роланд, В. Риддель, Л. Шассевен та інші вчені. Згідно з П. Роландом, присутність у гіпсовому в'язучому добавок, котрі сприяють підвищенню або зниженню його розчинності, створює умови для

прискорення чи уповільнення процесів гідратації. Швидкість гідратації залежить як від природи розчиненої речовини, так і від її концентрації в розчині.

Процес твердіння гіпсових в'язучих відбувається в декілька етапів [1–3]. Перший (підготовчий) період характеризується пластичним станом гіпсового тіста.

На другому етапі кристалики двогідрату зв'язані слабкими силами молекулярного зчеплення Ван-дер-Ваальса. Перехід характеризується загустінням.

Далі нестійкий гель перекристалізується в більш крупні кристали. Потім вони з'єднуються між собою в кристалічні зростки, що супроводжується твердненням системи і посиленням її міцності.

Процес формування центрів кристалізації гідрату $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ відбувається в умовах, коли ступінь пересичення розчину швидко змінюється [5].

Розвиток структури тверднення під час кристалізації двоводного гіпсу відбувається також у декілька етапів. У процесі першого етапу формується каркас кристалізаційної структури і виникають контакти зростання між кристалами нової фази. На другому – ріст кристалів. І третій етап – заповнення об'ємів і виникнення напружень [6]. Кінець процесу гідратації завершується формуванням структури з відповідними властивостями.

Процес структуроутворення в загальному вигляді залежить від початкового складу в'язучих речовин і речовин, які взаємодіють у ході гідратації.

Аналіз технічної літератури показує [7–10], що у виготовленні мінеральних в'язучих речовин перевага віддається створенню композиційних в'язучих, тоді як, у другу чергу – використанню різних добавок і факторів впливу на процес гідратації.

Більшість досліджень із використанням добавок пов'язана зі структуруванням гіпсових та цементних матеріалів із метою поліпшення фізико-механічних властивостей.

Аналіз літератури показав недостатню наявність інформації про механізм процесу гідратації та вплив пластифікаторів на структуроутворення мінеральних в'язучих речовин.

Мета досліджень – визначення впливу поверхнево-активних речовин (ПАР) на механізм процесу гідратації та структуроутворення гіпсових в'язучих.

Відповідно до мети визначали структуроутворення гіпсового в'язучого, сформованого за мінімального впливу інших факторів. Для цього застосовано методику зустрічного вирощування кристалів на основі розчинів CaCl_2 , Na_2SO_4 та H_2O .

Друга частина досліджень включає зустрічне вирощування кристалів гіпсу за присутності поверхнево-активних речовин, тобто вплив ПАР на структуру і властивості гідратованого гіпсового в'язучого.

Результати досліджень. Розглядаючи форму кристалів, що утворилися розчином $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$, можна помітити, що кожний кристал має вигляд тонких ниток, які формують просторову валоподібну структуру (рис. 1).

На фотографії розрізняються два шари. Нижній відносно щільний, верхній – у вигляді хвойного лісу, з якого ростуть вертикальні кристали висотою 25...30 мм. Вірогідно, процес формоутворення залежить від концентрації початкових компонентів і відбувається у три стадії. Це і виражає сформовану структуру. Характерно, що кристал являє собою ниткоподібну основу (рис. 1 б), із якої ростуть голчаті кристали.

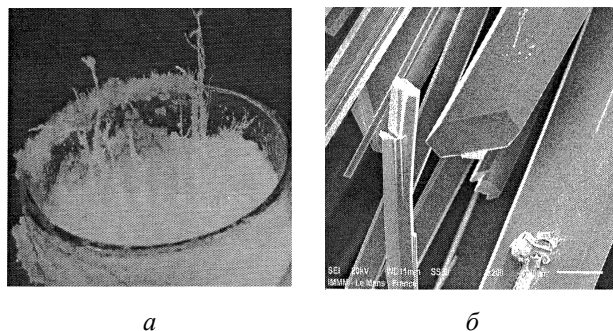


Рис. 1. Фотографія (а) і мікрофотографія (б) кристалів, одержаних методом зустрічного вирощування на основі CaCl_2 , Na_2SO_4 , H_2O

Мікроструктура гіпсових зразків, виготовлених без добавок, волокниста із значною кількістю пор. Дуже добре видно, що ріст кристалів відбувається по гранях (010) з енергією 240 мДж/м² (рис. 1 б).

Відповідно до плану експерименту для порівняння впливу ПАР провели вирощування кристалів за присутності добавок Sika Visco Grete, Glenium ACE 430, Master Air 81AIR, X- SEED 100 та ін.

Дослідження показали, що використання пластифікаторів сприяє росту кристалів у довжину. Найкращі результати спостерігаються у разі використання пластифікаторів Sika і ACE 430 (рис. 2–3).

Кристали, вирощені в середовищі з пластифікатором Sika (рис. 2), мають стовпчасту гексагональну структуру. Довжина кристалів 0,7 до 1,5 см, товщина 1...1,5 мм. На мікрофотографіях спостерігається, що ріст кристалів починається з однієї точки, а також заростання пустот між шарами. Це, певно, пов'язано із зміною поверхневого натягу.

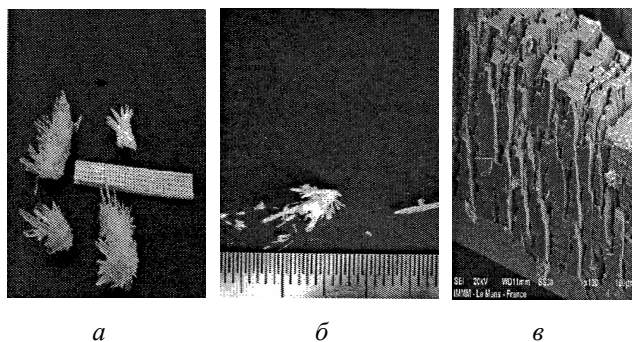


Рис. 2. Фотографії (а, б) і мікрофотографія (в) кристалів, вирощених у середовищі з пластифікатором Sika

За присутності ACE 430 кристали теж мають стовпчасту, щільну структуру (рис. 3).

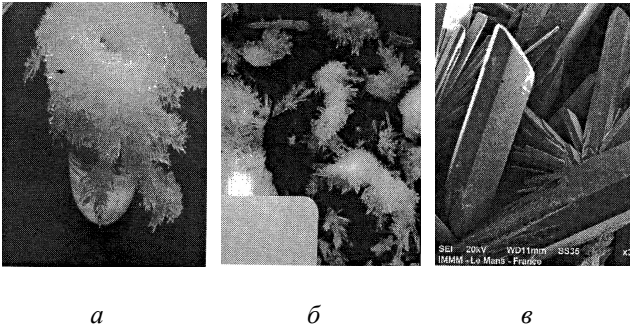


Рис. 3. Фотографії (а, б) і мікрофотографія в) кристалів, вирощених у середовищі з пластифікатором ACE 430

У середовищі Seed структура стовпчаста гексагональна, довжина 5...6 см, ширина 0,5...0,8 мм, товщина 0,1...0,2 мм. Усі шари мають гексагональну форму і ростуть по ширині і довжині кристалів.

Дослідженням з'ясовано, що на форму кристалів впливає також масова частка (%) відношення добавок до початкових компонентів [11].

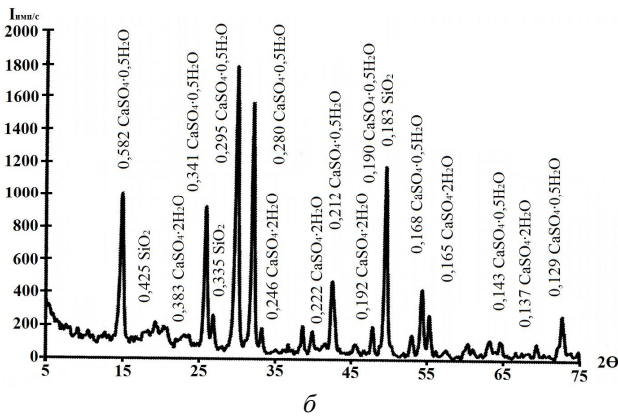
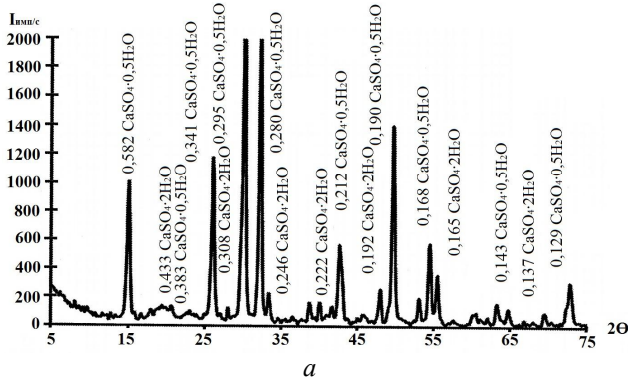


Рис. 4. Рентгенівська дифрактограма зразків: а – гіпс Г-5; б – гіпс Г-5 + пластифікатор Sika

Рентгеноструктурний аналіз одержаних кристалів (рис. 4) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ показав, що молекули добавок не вступають у хімічну взаємодію. Це підтверджують дослідження [12–14].

Але інтенсивність процесу гідратації в'язучого пов'язана із впливом добавок на форму та розміри кристалів двоводного сульфату кальцію і залежить від поверхневої енергії грані (рис. 2–3). Так, без добавок розвиток іде по грані (010) з поверхневою енергією 240 ± 80 мДж/м² (рис. 2).

Висновок. У результаті досліджень визначено вплив ПАР на структуру і властивості гідратованого гіпсового в'язучого, а також виділено найбільш ефективні добавки, що дозволяють значно знизити водогіпсове співвідношення, підвищити показники міцності та отримати в'язуче більш щільної структури.

Під час вирощування кристалів, утворених розчином $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaCl}$, мікроструктура гіпсових зразків волокниста із значною кількістю пор.

Під час зустрічного вирощування кристалів гіпсу за присутності поверхнево-активних речовин на мікрофотографіях спостерігається заростання пустот між шарами. Ріст кристалів починається з однієї точки, що пов'язано зі зміною поверхневої енергії.

Дослідження показали, що пластифікатори сприяють росту кристалів і залежно від типу добавки можна змінювати поверхневу енергію кристалів, що дозволить впливати на структуру затверділого в'язучого. Найкращі результати спостерігаються за умови використання пластифікаторів Sika і ACE 430.

Рентгеноструктурний аналіз одержаних кристалів $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ показав, що інтенсивність процесу гідратації в'язучого пов'язана із впливом добавок на форму та розміри кристалів двоводного сульфату кальцію і залежить від поверхневої енергії грані.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пашченко А. А., Сербин В. П., Старчевская Е. А. В'язучі матеріали : підруч. Київ : Вища школа, 1985. 440 с.
2. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольчиков В. С. Минеральные вяжущие вещества : учеб. пособ. Москва : Стройиздат, 1974. 328 с.
3. Волженский А. В., Федоровская А. В. Гипсовые вяжущие и изделия : учеб. пособ. Москва : Стройиздат, 1974. 328 с.
4. Шуман В. Горные породы и минералы : учеб. пособ. Москва : Мир, 1986. 215 с.
5. Фишер Х.-Б., Кривенко П. В., Саницкий М. А. Исследование процесса стабилизации свойств гипсовых вяжущих. Строительные материалы и изделия. 2013. № 1. С. 3–6.
6. Большаков В. И., Дворкин Л. Й. Строительное материаловедение : учеб. Днепропетровск : РВА, Днепр-VAL, 2004 . 678 с.
7. Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Дегидратация. Химическая технология вяжущих материалов : учеб. Москва : Высшая школа, 1980. 472 с.
8. Murat M., Karmazsin E. Cinétique d'hydratation des sulfates de calcium sémi-hydratés. Essai d'interprétation des courbes "Vitesse – degré d'avancement". In : Comptendu du Colloque International de la R.I.L.E.M. (25–27 Mai). Saint-Remy-Les-Chevreuse, France, 1977. Pp. 217–236.
9. Mishra R. K., Flatt R. J., Heinz H. Molecular Understanding of Directional Surface and Interface Tensions of Gypsum and Calcium Sulfate Hemihydrate. Proceedings of the XIII ICCI International Congress on the Chemistry of Cement. Madrid, Spain, 3–8 July, 2011. P. 8.
10. Murat M. Structure, cristalochimie, et reactivite des sulfates de calcium – Colloq. Int. de la Rilem: Sulfates de calcium et matereaux derives. Lion, 1977. P. 99.
11. Бут В. М., Тимашев В. В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов : учеб. пособ. для хим.-тех. спец. вузов. Москва : Высшая школа, 1973. 504 с.
12. Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. Москва : ГСФМЛ, 1961. 862 с.
13. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини : навч. посіб. Київ : ТОВ УВПК «ЕксОб», КНУБА, 2003. 472 с.
14. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон : монография. Москва : Стройиздат, 1979. 256 с.

REFERENCES

1. Pashchenko O.O., Serbin V.P. and Starchevskaya O.O. *Viazhuchi materialy* [Binding Materials] : pidruch. Kyiv : Vyshcha shkola Publ., 1985, 440 p. (in Ukrainian).
2. Volzhenskiy A.V., Burov Yu.S. and Kolokolchikov V.S. *Mineralnyie viazhushchiye veshchestva* [Mineral Binders] : ucheb. posob. Moscow : Stroyizdat Publ., 1974, 328 p. (in Russian).
3. Volzhenskiy A.V. and Fedorovskaya A.V. *Gipsovyie viazhushchiye i izdeliya* [Gypsum Binders and Products] : ucheb. posob. Moscow : Stroyizdat Publ., 1974, 328 p. (in Russian).
4. Schuman V. *Gornye porody i mineraly* [Rocks and Minerals] : ucheb. posob. Moscow : Mir Publ., 1986, 215 p. (in Russian).
5. Fischer H.-B., Kryvenko P.V. and Sanytskyi M.A. *Issledovaniye protsessy stabilizatsyi svoistv gipsovykh viazhushchikh* [Study of the Process of Stabilization of Properties of Gypsum Binders]. *Stroitelnyie materialy i izdeliya* [Building Materials and Products]. 2013, no. 1, pp. 3–6. (in Ukrainian).
6. Bolshakov V.I. and Dvorkin L.Yos. *Stroitelnoye Materialovedeniye* [Building Materials Science] : ucheb. Dnipropetrovsk : RVA, Dnipro-VAL, 2004, 678 p. (in Ukrainian).
7. Butt Yu.M., Sychov M.M. and Timashov V.V. *Degidratatsiya. Khimicheskaya tekhnologiya viazhushchikh materialov* [Dehydration. Chemical Technology of Binding Materials] : pidruch. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 1980, 472 p. (in Russian).
8. Murat M. and Karmazsin E. Cinétique d'hydratation des sulfates de calcium sémi-hydratés. Essai d'interprétation des courbes "Vitesse – degré d'avancement". In : Comptendu du Colloque International de la R.I.L.E.M. (25–27 Mai). Saint-Remy-Les-Chevreuse, France, 1977, pp. 217–236. (in France).
9. Mishra R. K., Flatt R. J. and Heinz H. Molecular Understanding of Directional Surface and Interface Tensions of Gypsum and Calcium Sulfate Hemihydrate. Proceedings of the XIII ICCI International Congress on the Chemistry of Cement. Madrid, Spain, 3–8 July, 2011, p. 8. (in Spain).
10. Murat M. Structure, cristalochimie, et reactivite des sulfates de calcium – Colloq. Int. de la Rilem: Sulfates de calcium et matereaux derives. Lion, 1977, p. 99. (in France).
11. But V.M. and Timashov V.V. *Praktikum po khimicheskoy tekhnologii viazhushchikh materialov* [Workshop on Chemical Technology of Binding Materials] : ucheb. posob. dlia khim.-tekh. spets. vuzov. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 1973, 504 p. (in Russian).