

УДК 691.535: 621.318

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.280420.107.627

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ АКТИВАЦІЇ КОНЦЕНТРОВАНОЇ ЦЕМЕНТНОЇ СУСПЕНЗІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ Й БЕТОНУ

ШПИРЬКО М. В.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
ДУБОВ Т. М.^{2*}, *асист.*

¹ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49000, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-33-76, e-mail: shpirko1946@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2166-4952

^{2*} Кафедра автоматики та електротехніки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, Ю 24-а, 49000, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 756-34-54, e-mail: DTN2003@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

Анотація. *Постановка проблеми.* Значно впливає на властивості бетонів міцність цементного каменю. Тому формуванню структури і властивостей цементного каменю приділяється велика увага. Підвищення властивостей забезпечується шляхом активації твердіння цементного тіста різними способами. Один із таких способів – це обробка в електромагнітному полі води замішування чи цементної суспензії низької концентрації. Під час обробки концентрованої цементної суспензії в змінному електромагнітному полі інтенсифікуються: розчинення, диспергація, гідратація компонентів цементу і формування зв'язнодисперсної структури цементного каменю. У статті наводяться результати дослідження впливу обробки концентрованої цементної суспензії, що містить вапно, в змінному електромагнітному полі на процеси твердіння і міцність цементного каменю. **Мета статті** – дослідження сумісного впливу змінного електромагнітного поля і $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на властивості цементного каменю. **Висновок.** Вплив змінного електромагнітного поля на концентровану цементну суспензію, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$ завдяки синергетичному ефекту сприяє інтенсифікації процесу твердіння і підвищенню міцності цементного каменю, як у ранньому, так і в нормативному віці.

Ключові слова: *активація; електромагнітна обробка; цементний камінь; бетон; цементна суспензія*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ КОНЦЕНТРИРОВАННОЙ ЦЕМЕНТНОЙ СУСПЕНЗИИ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ И БЕТОНА

ШПИРЬКО Н. В.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
ДУБОВ Т. Н.^{2*}, *асист.*

¹ Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49000, Днiпро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: shpirko1946@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2166-4952

^{2*} Кафедра автоматики и электротехники, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49000, Днiпро, Украина, тел. +38 (056) 756-34-54, e-mail: DTN2003@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

Аннотация. *Постановка проблемы.* Значительное влияние на свойства бетонов оказывает прочность цементного камня. Поэтому формированию структуры и свойств цементного камня уделяется большое внимание. Повышение свойств обеспечивается путем активации твердения цементного теста различными способами. Одним из таких способов является обработка в электромагнитном поле воды затворения или цементной суспензии низкой концентрации. При обработке концентрированной цементной суспензии в переменном электромагнитном поле интенсифицируются: растворение, диспергация, гидратация компонентов цемента и формирование связнодисперсной структуры цементного камня. В данной работе приводятся результаты исследования влияния обработки концентрированной цементной суспензии, содержащей известь в переменном электромагнитном поле, на процессы твердения и прочность цементного камня. **Цель статьи** – исследование совместного влияния переменного электромагнитного поля и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на свойства цементного камня. **Вывод.** Воздействие переменного электромагнитного поля на концентрированную цементную

суспензію, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$, завдяки синергетичному ефекту сприяє інтенсифікації процесу твердження і підвищенню прочності цементного каменю як в ранньому, так і в нормативному віці.

Ключевые слова: активация; электромагнитная обработка; цементный камень; бетон; цементная суспензия

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC ACTIVATION OF CONCENTRATED CEMENT SUSPENSION ON THE PROPERTIES OF CEMENT STONE AND CONCRETE

SHPIRKO V.M.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Professor*,
DUBOV T.M.^{2*}, *Assist.*

¹ Department of Technology of Construction Materials, Products and Structures, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskoho St., 49000, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-76, e-mail: shpirko1946@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2166-4952

^{2*} Department of Automation and Electrical Engineering, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Chernyshevskoho St., 49000, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-34-54, e-mail: DTN2003@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

Abstract. Problem statement. The strength of cement stone has a significant impact on the properties of concrete. Therefore, much attention is paid to the formation of the structure and properties of cement stone. Improvement of the properties is achieved by activating the hardening of the cement paste in various ways. One of such methods is the processing of cement paste in electromagnetic field mixing with water or cement suspension of low concentration. When processing concentrated cement suspension in an alternating electromagnetic field, there is the intensification of dissolution, dispersion, hydration of the cement components and the formation of a cohesively dispersed structure of cement stone. The given paper gives research results of the impact of the processing concentrated cement suspension containing lime in an alternating electromagnetic field on hardening and strength processes of cement stone. **The purpose** of the article is to study the joint influence of alternating electromagnetic field and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ on the properties of cement stone. **Conclusion.** The impact of the alternating electromagnetic field on the concentrated cement suspension, containing $\text{Ca}(\text{OH})_2$ as the result of synergetic effect enables to intensify hardening process and increasing the physical and mechanical properties of cement stone.

Keywords: activation; electromagnetic treatment; cement stone; concrete; cement suspension

Актуальність проблеми. На економічні показники технології виробництва бетонних виробів і конструкцій значно впливає надає підвищення його міцності як у ранньому, так і в нормативному віці. Міцність бетону забезпечується інтенсивним збільшенням міцності цементного каменю. Тому формуванню структури цементного каменю, що забезпечує необхідну міцність у ранньому і нормативному віці, приділяється велика увага дослідників. Підвищення міцності цементного каменю досягається різними способами. Один із таких способів – це обробка концентрованої цементної суспензії, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в змінному електромагнітному полі. Така обробка інтенсифікує процес розчинення, диспергації і гідратації, а потім формування структури цементного каменю.

Аналіз публікацій. Формування структури цементного каменю після замішування цементу з водою включає розчинення, диспергацію і гідратацію поверхні зерен цементу з подальшим формуванням гідратованих комплексів (в основному топохімічно і меншою мірою по «скрізьрозчинному» механізму) їх колоїдацією, кристалізацією і конденсацією.

Слід зазначити, що багато вчених приділяли велику увагу проникненню води по мікротріщинах, поверхневих дефектах у зерна цементу, викликаючи розпад їх поверхні, у тому числі трьохкальцієвого силікату [1–3; 17]. Низка вчених також зазначають, що процес гідратації цементних мінералів супроводжується протонізацією атомів кисню протоном, що утворюється в результаті дисоціації молекул води. При

цьому розрив деформованих зв'язків –Ca–O– може відбуватися під час міграції протонів усередину кристалічної решітки, що підтверджується даними ІЧ спектроскопії [4–9].

За [5], протони утворюються в результаті дисоціації води на активних центрах поверхні. При цьому також утворюються й іони OH^- , які змінюють рН рідкої фази. Згідно з [9], простішими стійкими гідратами у водних розчинах кислот і основ завдяки водневому зв'язку стають комплексні іони H_3O_2^+ і H_3O_2^- . У процесі розчинення поверхні зерен цементу у зв'язку з утворенням іонів збільшуються рН і електропровідність. З утворенням у рідкій фазі комплексів порландиту, гідросульфоалюмінатів кальцію, гідроалюмінатів кальцію, гідросилікатів кальцію і гідросилікатів топохімічним шляхом починається процес формування коагуляційної, кристалізаційної і конденсаційної структури цементного каменю.

У праці [11] розвинені уявлення про механізм гідратації і тверднення цементних систем в умовах електромагнітної активації, що полягає в збільшенні рухливості іонів H^+ і OH^- . Це спричинює послаблення зв'язку $\text{Me}-\text{O}$, і збільшення інтенсивності взаємодій в системі. Показано, що керувати процесами, які відбуваються в композитах, і їх властивостями можливо зміною напруженості магнітного поля.

Дослідженнями, описаними в [12–14], встановлено, що найбільший ефект під час формування структури мінеральних в'язучих речовин досягається за комплексної електромагнітної обробки. За цих факторів ефект електромагнітної обробки залежить від швидкості течії води, напруженості магнітного поля.

Відомі два способи замішування бетонної суміші омагніченою водою. У першому способі здійснюється попередня обробка води або цементної суспензії 1,5 % концентрації [11–15], а в другому магнітна обробка бетонної суміші здійснюється під час її приготування у бетонозмішувачі [15].

Результати досліджень. Найбільш слабка ланка в структурі бетону – цементний камінь, тому підвищення міцності актуальне. Нижче розглядається вплив електромагнітної обробки концентрованої суспензії цементу ПЦ І, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, на рН, електропровідність і міцність цементного каменю, які характеризують фізико-хімічні процеси, що зумовлюють формування і розвиток дисперсної структури. Обробка концентрованої цементної суспензії ($\text{В/Ц} = 0,5$) проводилася в змінному електромагнітному полі з напруженістю $1,7 \cdot 10^5$ А/м.

Враховуючи те, що час релаксації частково зруйнованої кластерної структури води незначний, а, отже, водневі зв'язки швидко відновлюються, обробці в змінному електромагнітному полі піддавалася не вода, а концентрована цементна суспензія, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Криві зміни концентрації гідроксильних іонів, наведені на рисунку 1, свідчать, що інтенсивність і величина розчинення, диспергації поверхні зерен цементу суспензії, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$, обробленої в змінному електромагнітному полі, значно збільшуються порівняно з контрольним зразком суспензії.

Порівняльний аналіз підвищення електропровідності тверднучої суспензії, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$, обробленої в електромагнітному полі, і контрольної суспензії (рис. 2) показує більш інтенсивне збільшення електропровідності першої, що також свідчить про вищу швидкість розчинення і диспергації поверхні зерен цементу.

Під час обробки концентрованої цементної суспензії, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в змінному електромагнітному полі відбуваються такі процеси: при гасінні вапна у воді утворюється $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що міститься в розчині у вигляді іонів; це спричинює руйнування структури води та її часткової дисоціації по реакції $2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$. Також за дії електромагнітного поля відбувається прецесія зовнішніх електронних хмар у молекулах води, і вони набувають індукований магнітний момент,

перпендикулярний напрямку магнітного поля. При цьому енергія напружених зв'язків змінюється, що також спричинює їх частковий розрив і зміни структури води [15].

Зміна структури води через синергетичний ефект від дії $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і змінного електромагнітного поля збільшує її дисоціацію з утворенням більшої кількості іонів H^+ і OH^- . Це викликає більш інтенсивну і більшу диспергацію, розчинення поверхні зерен цементу з подальшою гідратацією. Більша кількість гідратованих частинок різного рівня в

одиниці об'єму зумовлює більш інтенсивну коагуляцію і формування зв'язнодисперсної системи, в якій вони зв'язані ван-дер-ваальсовими силами і водневими зв'язками, а також утворення і кристалізацію гідросульфоалюмінатів, алюмінатів кальцію, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, гідросилікатів кальцію, розташованих як на поверхні, так і між гідратованими зернами цементу. Більш інтенсивне формування первинної структури сприяє більш високій ранній міцності цементного каменю у віці однієї доби, що виходить з рисунка 3.

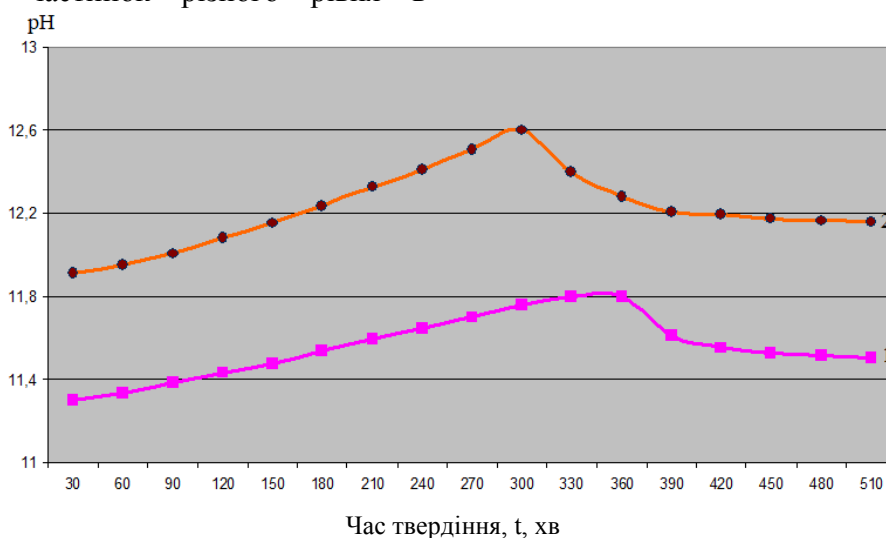


Рис. 1. Крива зміни рН у процесі формування структури цементного каменю: 1 – на воді, обробленій у змінному електромагнітному полі; 2 – на концентрованій цементній суспензії з добавкою $\text{Ca}(\text{OH})_2$, обробленій в електромагнітному полі

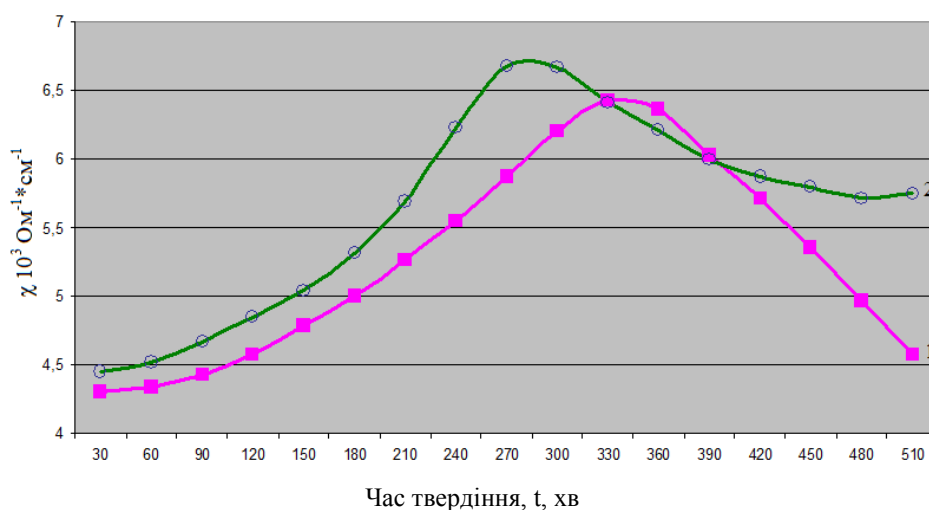


Рис. 2. Крива зміни електропровідності χ у процесі формування структури цементного каменю: 1 – на воді, обробленій у змінному електромагнітному полі; 2 – на концентрованій цементній суспензії з добавкою $\text{Ca}(\text{OH})_2$, обробленій в змінному електромагнітному полі

При цьому міцність цементного каменю, отриманого з концентрованої цементної суспензії, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$, і обробленої в електромагнітному полі у віці однієї доби, на 24 % перевищує міцність контрольного зразка, а у віці 28 днів – на 19,6 %. Це свідчить, що в ранньому віці міцність цементного каменю підвищується більш інтенсивно порівняно з контрольним зразком, за рахунок більшого розчинення і диспергації поверхні зерен цементу, вищого ступеня гідратації і утворення

більшої кількості портландиту і гідросилікатів кальцію. Зрештою це зумовлює збільшення контактів і їх площі в одиниці об'єму цементного каменю.

Результати досліджень, наведені на рисунку 3, свідчать про закономірне збільшення міцності цементного каменю в процесі тверднення концентрованої цементної суспензії, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$, обробленої в змінному електромагнітному полі.

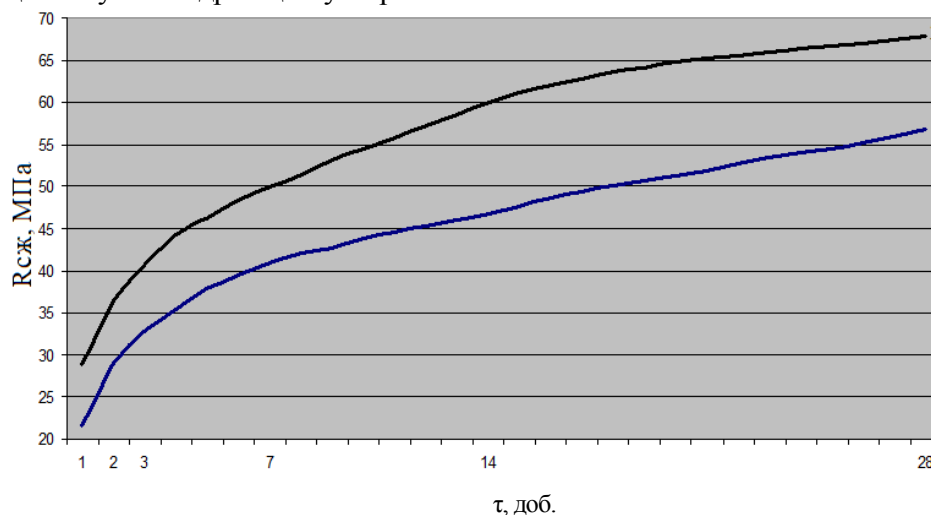


Рис. 3. Криві зміни $R_{сж}$ у процесі формування структури цементного каменю: $R_{сж1}$ – на воді, обробленій у змінному електромагнітному полі; $R_{сж2}$ – на концентрованій цементній суспензії з додаванням $\text{Ca}(\text{OH})_2$, обробленій у змінному електромагнітному полі

Висновки. Активізація води, адсорбованої на поверхні зерен цементу, шляхом обробки концентрованої цементної суспензії, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в змінному електромагнітному полі викликає збільшення кількості в ній протонів. Це підвищує ступінь розчинення і диспергації поверхні зерен цементу, утворення більшої кількості $\text{Ca}(\text{OH})_2$, гідросилікатів, кількості контактів в одиниці об'єму

цементного каменю і обумовлює більш інтенсивний набір міцності в ранньому віці. В подальшому розрив між міцністю цементного каменю, отриманого з концентрованої цементної суспензії, що містить $\text{Ca}(\text{OH})_2$, обробленої в змінному електромагнітному полі і контрольним зразком, скорочується з 25 до 19,6 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кинд В. В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях : монография. Москва : Госэнергоиздат, 1955. 230 с.
2. Огороков С. Д. Взаимодействие минералов портландцементного клинкера в процессе твердения цемента : монография. Москва, Санкт-Петербург : Стройиздат, 1945. 36 с.
3. Труды III Всесоюзной конференции по коллоидной химии. Москва : Изд-во АН СССР, 1956. 149 с.
4. Илюхин В. В., Кузнецов В. А., Лобачёв А. Н., Бакшуттов В. С. Гидросиликаты кальция. Синтез монокристаллов и кристаллохимия : монография. Москва : Наука, 1979. 184 с.
5. Сычев М. М. Современные представления о механизме гидратации цементов. *Промышленность строительных материалов. Сер. 1. Цементная промышленность*. Вып. 3. Москва : ВНИЭСТИ, 1984. 51 с. С. 13–17.
6. Шпынова Л. Г., Чех В. И., Саницкий М. А. и др. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня : монография. Львів : Вища школа, 1981. 160 с.

7. Саницкий М. А. Некоторые вопросы кристаллохимии цементных минералов : монография. Київ : УМК ВО, 1990. 64 с.
8. Капранов В. В. Твердение вяжущих веществ и изделий на их основе : монография. Челябинск, 1976. 191 с.
9. Юхневич Г. В. Инфракрасная спектроскопия воды : монография. Москва, 1973. 207 с.
10. Горленко Н. П., Саркисов Ю. С. Низкоэнергетическая активация дисперсных систем : монография. Томск : Издательство Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2011. 263 с.
11. Круглицкий Н. Н. Физико-химическая механика дисперсных структур в магнитных полях : монография. Киев : Наукова думка, 1976. 193 с.
12. Грушко И. М., Бирюков В. А., Селиванов И. И., Киселев И. Ф. Влияние обработки цементных суспензий на ускоренное твердение бетонов. *Бетон и железобетон*. Харьков : ХАДИ, 1981. № 3. С. 38–40.
13. Королев К. М., Медведев В. М. Магнитная обработка воды в технологии бетона. *Бетон и железобетон*. Харьков : ХАДИ, 1971. № 8. 32 с.
14. Дубов Т. М. Вплив електромагнітної обробки концентрованої цементної суспензії на фізико-механічні властивості. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 5. С. 31–36.
15. Калашников С. Г. Электричество : учеб. пособ. 6-е изд. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. 624 с.

REFERENCES

1. Kind V.V. *Korroziya tsementov i betona v gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh* [Corrosion of cements and concrete in hydraulic structures]. Moscow : Gosenergoizdat, 1955, 230 p. (in Russian).
2. Okorokov S.D. *Vzaimodeystviye mineralov portlandtsementnogo klinkera v protsesse tverdeniya tsementa* [The interaction of Portland cement clinker minerals in the process of cement hardening]. Moscow, Siant-Petersburg : Stroyizdat, 1945, 36 p. (in Russian).
3. *Trudy III Vsesoyuznoy konf. po kolloid, khimii* [Proceedings of the III All-Union Conf. on colloid, chemistry]. Moscow : Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1956, 149 p. (in Russian).
4. Ilyukhin V.V., Kuznetsov V.A., Lobachov A.N. and Bakshutov B.C. *Gidrosilikaty kal'tsiya. Sintez monokristallov i kristalokhimiya* [Calcium hydrosilicates. Synthesis of single crystals and crystal chemistry]. Moscow : Nauka Publ., 1979, 184 p. (in Russian).
5. Sychev M.M. *Sovremennyye predstavleniya o mekhanizme gidratatsii tsementov* [Modern views on the mechanism of cement hydration]. *Promyshlennost' stroitel'nykh materialov. Ser. 1. Cementnaya promyshlennost'* [Industry of building materials. Ser. 1. Cement Industry]. Vol. 3, Moscow : VNIESTI, 1984, 51 p. (in Russian).
6. Shpynova L.G., Chekh V.I., Sanitskiy M.A. and oth. *Fiziko-khimicheskiye osnovy formirovaniya struktury tsementnogo kamnya* [Physico-chemical principles of the formation of the structure of cement stone]. Lviv : High School, 1981, 160 p. (in Russian).
7. Sanitskiy M.A. *Nekotoryye voprosy kristalokhimiya tsementnykh mineralov* [Some issues of the crystal chemistry of cement minerals]. Kyiv : UMK VO, 1990, 64 p. (in Russian).
8. Kapranov V.V. *Tverdeniye vyazhushchikh veshchestv i izdeliy na ikh osnove* [Hardening of binders and products based on them]. Chelyabinsk, 1976, 191 p. (in Russian).
9. Yukhnovich G.V. *Infrakrasnaya spektroskopiya vody* [Infrared spectroscopy of water]. Moscow, 1973, 207p. (in Russian).
10. Gorlenko N.P. *Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya dispersnykh sistem* [Low-energy activation of disperse systems]. Tomsk : Publishing House of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2011, 263 p. (in Russian).
11. Kruglitskiy N.N. *Fiziko-khimicheskaya mekhanika dispersnykh struktur v magnitnykh polyakh* [Physicochemical mechanics of disperse structures in magnetic fields]. Kyiv : Naukova Dumka, 1976, 196 p. (in Russian).
12. Grushko I.M. *Vliyaniye obrabotki tsementnykh suspenziy na uskorennoye tverdeniye betonov* [The effect of the processing of cement suspensions on the accelerated hardening of concrete]. Kharkiv : HADI, 1981, no. 3, pp. 38–40. (in Russian).
13. Korolev K.M. and Medvedev V.M. *Magnitnaya obrabotka vody v tekhnologii betona* [Magnetic water treatment in concrete technology]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. Kharkiv : HADI, 1971, no. 8, 32 p. (in Russian).
14. Dubov T.M. *Vplyv elektromagnitnoyi obrobky kontsentrovanoyi tsementnoyi suspenziyi na fizyko-mekhanichni vlastyivosti* [Influence of electromagnetic processing of concentrated cement slurry on physical and mechanical properties]. *Visnyk Prydniprov'skoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. No. 5, 2019, pp. 31–36. (in Ukrainian).
15. Kalashnikov S.G. *Elektrichestvo : ucheb. posob.* [Electricity : tutorial]. 6th ed. Moscow : FIZMATLIT, 2003, 624 p. (in Russian).

Надійшла до редакції : 17.02.2020 р.