

УДК 666.972.162

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНІВ З ОБ'ЄМНОЮ ГІДРОФОБИЗАЦІЄЮ

ТРОФИМОВА І. А., *асп.*

Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: innes107@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3962-7420

Анотація. *Постановка проблеми.* Захист бетону за допомогою гідрофобізуючих домішок використовується з 1960–1970-х років, але з підвищенням вимог до довговічності конструкцій, їх корозійної стійкості та появою на ринку нових типів гідрофобізаторів виникає потреба досконало дослідити їх вплив на фізико-хімічні властивості цементного каменю й можливо розширити сферу їх застосування в будівельній промисловості. *Мета статті* - проаналізувати основні тенденції досліджень, пов'язаних з об'ємною гідрофобізацією цементного каменю. *Висновки.* Кремнійорганічні сполуки оптимальні для підвищення експлуатаційних властивостей бетону й можуть бути базовим компонентом у поєднанні з кольматуючою речовиною для отримання комплексних добавок, синергетична дія зумовить поліпшення гідрофобних та економічно ефективних властивостей бетонів. Гідрофобізуючі домішки з кольматуючим ефектом - це домішки останнього покоління, які виготовлені за кордоном та потребують досконалих досліджень їх впливу на цементі українського виробництва та властивості бетонів.

Ключові слова: *гідрофобізуючі домішки; повітровтягування; водонепроникність; морозостійкість; капілярне всмоктування; міцність при стиску*

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ С ОБЪЕМНОЙ ГИДРОФОБИЗАЦИЕЙ

ТРОФИМОВА И. А., *асп.*

Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-72, e-mail: inness107@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3962-7420

Аннотация. *Постановка проблемы.* Защита бетона с помощью гидрофобизирующих добавок используется с 1960–1970-х гг., но с повышением требований к долговечности конструкций, их коррозионной стойкости и появлением на рынке новых типов гидрофобизаторов возникает необходимость досконально исследовать их влияние на физико-механические свойства цементного камня и возможно, расширить область их применения в строительной индустрии. *Цель статьи* - проанализировать основные тенденции исследований, связанных с объемной гидрофобизацией цементного камня. *Выводы.* Кремнийорганические соединения являются оптимальными для повышения эксплуатационных свойств бетонных и могут быть базовым компонентом в сочетании с кольматирующим веществом для получения комплексных добавок, синергетическое действие которых приведет к высоким гидрофобным и экономически эффективным свойствам бетонных. Гидрофобизирующие добавки с кольматирующим эффектом являются добавками иностранного производства последнего поколения и требуют доскональных исследований их влияния на цементы украинского производства и свойства бетонных.

Ключевые слова: *гидрофобизирующие добавки; воздухововлечение; водонепроницаемость; морозостойкость; капиллярное всасывание; прочность при сжатии*

ANALYTICAL REVIEW OF RESEARCH PHIZIC-MECHANCAL PROPERTIES OF CONCRETES WITH VOLUME HYDROPHOBIZATION

TROFIMOVA I. A., *graduate student.*

Department of Building Materials Technology, Products and Structures, SHEE «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24^A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, +38 (0562) 46-93-72, e-mail: inness107@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3962-7420

Annotation. *Formulation of the problem.* Concrete protection with the help of hydrophobical additives has been used since 60–70, but with increasing requirements to the durability of structures, their corrosion resistance and the appearance of new types of hydrophobical additives on the market, it becomes necessary to thoroughly investigate their effect on the physical and mechanical properties of the cement stone and possibly expand the scope of their application in the construction industry. *Goal and tasks.* Analyze the main trends of research related to volumetric

hydrophobization of cement stone, which were obtained in recent years. **Conclusions.** Organic silicon compounds are optimal for improving the basic properties of concrete and can be the basis for a complex of materials, with synergetic action of which will lead to the production of concrete with high hydrophobic and cost effective properties. Hydrophobic additives with colmatating effect are the last generation's foreign-made impurities, and require thorough research on their impact on the cement of Ukrainian production and the properties of concrete.

Keywords: hydrophobic additives; air entrainment; water resistance; frost resistance; capillary suction; compressive strength

Постановка проблеми. Забезпечення довговічності бетонних конструкцій - актуальне завдання. У процесі експлуатації бетон піддається комплексу несприятливих впливів: поперемінному зволоженню – висушуванню, заморожуванню – відтаванню, контакту з корозійноактивними до цементного каменю речовинами. Це викликає до його корозію, що виражається зниженням міцності матеріалу і погіршенням експлуатаційних властивостей виробу. Процеси корозії цементного каменю пов'язані з інтенсивним масопереносом у структурі матеріалу. Чим нижча швидкість масопереносу, тим вища корозійна стійкість цементного каменю.

Існують два способи проникнення води через бетон. Коли бетон піддається гідростатичному тиску на одній поверхні, вода проходить через канали, утворені сполучними тріщинами і порожнинами, на іншу поверхню. Інший спосіб проходження вологи через бетон від вологого боку до сухого - це капілярне всмоктування. Якщо виключити капілярне водопоглинання бетонних матеріалів, можна ліквідувати розвиток напружень від супутніх усадочних деформацій і напружень у структурі бетону, дифузійного переміщення агресивних розчинів у тіло бетону і його корозію, напруженого стану від кристалізації льоду в порах бетону.

Створення, з одного боку, пористих матеріалів, капілярна структура і сприйнятливість до води яких визначені природою гідратаційних процесів, а з іншого – таких, що не поглинають воду і сольові розчини, тобто є сильно гідрофобними, можна вважати актуальним завданням на сьогоднішній день.

Мета статті - проаналізувати основні тенденції досліджень, пов'язаних з об'ємною гідрофобізацією цементного

бетону та її впливом на його основні властивості.

Аналіз літератури. Сучасні гідрофобізуючі домішки за хімічним складом поділяються на луки металів, силікони, отримані сорбцією кремнійорганічних смол на мінеральних носіях, та домішки комплексної дії.

Гідрофобізуючі домішки залежно від ефекту дії класифікують за ступенем зниження водопоглинання бетону у віці 28 днів:

1-ша група – знижують водопоглинання в 5 разів і більше (Аддімент дм² (Sika), Зікагард – 702В – Аквафоб (Sika), олеат натрію).

2-га група – знижують водопоглинання в 2...4,9 раза (Полігідросилоксани 136-41 (колиш. ГКЖ-94) і 136-157м (колиш. ГКЖ-94м), стеарат цинку, стеарат кальцію, Сементол Е (ТКК Словенія).

3-тя група – знижують водопоглинання в 1,4...1,9 раза. До них відносять сірчаноокислі солі пеназолінів ССП, етлсиліконат натрію ГКЖ-10 і метилсиліконат натрію ГКЖ-11 [1].

Гідрофобізуючі домішки також поділяються на активні і неактивні. Неактивні гідрофобні агенти хімічно не взаємодіють з реакційноздатними компонентами цементних матеріалів. Активні гідрофобізуючі домішки вступають у хімічну реакцію за мінералами цементу в присутності води та впливають на структуроутворення продуктів гідратації цементного каменю. Механізм дії неактивних гідрофобізуючих домішок полягає в тому, що вони при контакті з продуктами гідратації цементу осідають у вигляді дрібних крапельок на стінках пор і капілярів, утворюючи гідрофобні покриття. В результаті цього виникає контакт, який має зворотний кут, за якого сили

поверхневого натягу виштовхують воду з пор.

Механізм дії активних гідрофобізуючих домішок, незважаючи на те, що вони відрізняються хімічним складом та походженням, є характерним та спирається на наявність реакційноздатної групи і гідрофобного радикала. При цьому виникає енергетично найбільш вигідний стан системи: гідрофільні групи взаємодіють із гідроксильними іонами, що виділяються в процесі гідролізу мінералів цементного клінкеру, і хемосорбційно зв'язуються з поверхнею цементу, що перебуває в процесі гідратації, а гідрофобні вуглеводневі радикали (ланцюги), звернені до води, внаслідок взаємного відштовхування впливають на формування цементного каменю в бетоні.

Полярно-активні групи гідрофобізуючих речовин мають схильність до асоціації, оскільки між ними існують силові зв'язки. Вуглеводневі ланцюги молекул, навпаки, володіють слабким силовим полем. Таким чином, гідрофобність - це головний показником водопоглинання матеріалу та його здатності змочуватися водою. Відносною характеристикою змочування є значення крайового кута змочування Θ , який утворюється поверхнею краплі рідини з поверхнею матеріалу.

На рисунку показано принцип цієї взаємодії – якщо $\Theta = 0$, поверхня повністю змочується рідиною, $\Theta = 180^\circ$ характеризує повне незмочування. Всі поверхні, у яких $\Theta < 90^\circ$, вважаються гідрофільними, при $\Theta > 90^\circ$ – гідрофобними.

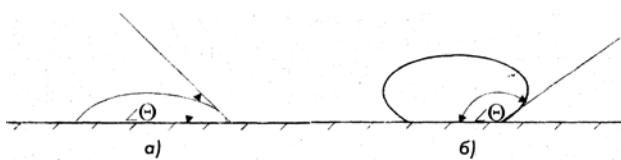


Рис. Схеми взаємодії рідини з поверхнею тіла (частки): а – змочування $\Theta < 90^\circ$; б – незмочування $\Theta > 90^\circ$ Scheme of fluid interaction with the surface of the body (particles)

Інтенсивність процесу корозії цементного каменю визначається швидкістю підведення корозійноактивного розчину в зону реакції і пов'язана з проникністю цементного каменю. Маса корозійно активного розчину,

що проникає в цементний камінь по системі капілярних пор, описується рівнянням:

$$m = K\tau^{1/2}, \text{ або}$$

$$m = \left[\frac{\varepsilon}{\lambda} \cdot r^{1/2} \right] \cdot \left[\rho \cdot \left(\frac{\sigma}{\eta} \right)^{1/2} \right] \cdot \left[\left(\frac{\cos \Theta}{2} \right)^{1/2} \right] \cdot \tau^{1/2},$$

де K – коефіцієнт капілярного водопоглинання; ρ – густина корозійноактивного розчину з поверхневим натягом σ та в'язкістю η ; r – радіус пор матеріалу, ε – їх кривизна; λ – ступінь звивистості; Θ – крайовий кут змочування стінки капіляра проникним розчином.

Аналіз рівняння показує, що гідрофобізація стінок капіляра викликає зростання крайового кута змочування та значно знижує швидкість проникання корозійноактивного розчину до цементного каменю і також підвищує його стійкість до зовнішніх негативних факторів. Виходячи з того, що гідрофобізуючі домішки перешкоджають доступу молекул води до поверхні частинок цементу, це гальмує процеси гідратації і знижує міцності цементного каменю, особливо на початкових етапах твердіння [4].

У цій статті розглянуто праці з досліджень гідрофобізуючих домішок на основі продуктів переробки торфу, кремнійорганічних сполук та сахаридів.

Більшість гідрофобізуючих домішок сприяють повітровтягуванню в тій чи іншій мірі, це тягне за собою зниження міцності на стиск, приблизно на 5% на кожний процент залученого повітря. Ця здатність має сенс для жорстких бетонних сумішей, бо таким чином полегшуються формувальні, зручновкладальні здатності бетонної суміші. Також залучене повітря сприяє зростанню морозостійкості, але при цьому дуже важливу роль відіграє характер пористості.

Негативний чинник більшості гідрофобізуючих домішок - сповільнення процесу гідратації на початковому етапі твердіння. Перелічені проблеми зниження міцності цементного каменю вирішуються декількома способами: введенням піногасильних домішок [2; 3], капсулюванням гідрофобізуючих домішок [4] та виробництвом гранульованих гідрофобних

трегерів, технологічні схеми виготовлення яких наведено у праці [5].

Праці з досліджень цементних бетонів із гідрофобізуючими домішками показують, що вплив цих домішок найбільше позначається на показниках міцності, морозостійкості, водопоглинанні та стираності.

Згідно з висновками наукових публікацій [2; 3], гідрофобні домішки на основі продуктів переробки торфу сприяють значному повітровтягуванню, знижують кінцеву міцність цементного каменю, незважаючи на їх процентний вміст, а використання піногасильних домішок дещо збільшує показник міцності, але він нижчий, ніж у зразках цементного каменю без домішок.

У науковій праці [4] негативний вплив уповільнення гідратації цементного каменю виключено використанням капсульованої гідрофобної домішки, дія якої сприяла зниженню швидкості десорбції гідрофобізатора, регулюванню часу його надходження до твердіючого цементу. Також зазначено, що використанням 3 % капсульованої домішки від маси цементу збільшено клас бетону по водонепроникності з W10 до W16 та мав місце позитивний вплив на міцність, корозійну стійкість, морозостійкість.

Дуже багато досліджень присвячено впливу гідрофобізуючих домішок на дорожні цементобетони та цементогрунти, де використовуються кремнійорганічні сполуки ГКЖ-94, 136-157М [6], ГКЖ-94, АДЕ-3 [7], гіросилоксани [8], ГКЖ-11К, ФЕС-50, ЖГ136-41 [9].

Як відомо, кремнійорганічні сполуки мають дві складові – одна з них являє собою гідрофільні полярні силоксанові ланцюжки з кремнійкисневими зв'язками, які хімічно зв'язуються з ОН-групами та мінеральними складовими цементу; друга – гідрофобні вуглеводневі радикали, зв'язані з кремнієм, які не розчиняються у воді. Ця складова утворює водовідштовхувальний шар, орієнтований у напрямку від поверхні мінеральних частин.

У публікації [6] зазначається, що введення до складу бетону 0,1 % домішок ГКЖ-94, 136-157М у зразках цементобетону підвищує морозостійкість на 30...45 %, водонепроникність у 2,5...3 рази, міцність при стиску на 11...15 %, та зменшує показник стираності на 50...58 %, що зумовлюється впливом домішок на процеси структуроутворення бетону.

Кремнійорганічні домішки теж мають повітровтягувальний ефект, але за введення мінімальної відсоткової кількості до складу бетонної суміші не знижують міцності бетону, а навпаки, збільшують цей показник. У таблиці наведено результати впливу гідрофобних домішок на міцність цементного бетону [7].

У будівельній промисловості дуже активно використовують гідрофобізуючі домішки європейського виробництва, але досліджень за останнє десятиріччя, які б описували результат їх впливу на фізико-хімічні та механічні властивості цементів українського виробництва, немає.

Зарубіжні дослідники використанні домішки КІМ [10] у кількості 1 %, 2 %, 3 % від маси цементу, яка, згідно з результатами досліджень, є домішкою на основі сахаридів комплексної дії, підтверджують процес уповільнення гідратації цементу, але вона не впливає хімічно на цей процес. Також помічено, що присутність гідрофобізуючої домішки знижує температуру гідратації, що, наприклад, дуже позитивно для масивних конструкцій, та сприяють мінімізації розміру замкнутих пор у структурі бетону та їх переходу від капілярної до замкнутої системи пор.

У процесі досліджень виявлено сполуки кальцію, кремнію, які ставали центрами зародження та утворення часток нанорозміру. Ці сполуки діяли як прискорювачі для утворювання та зростання кристалів, які заповнювали пори та тріщини і тим самим зменшували просочування води. Увесь цей процес сприяє зростанню міцності бетону (після 7-ї доби твердіння), його корозійній стійкості, водонепроникненню, довговічності. Можна

стверджувати, що досліджена домішка має гідрофобно-кольматаційні властивості.

Таблиця 1

Порівняння результатів міцності при стиску та розтягуванні при згині зразків із гідрофобізуючими домішками, с. 70 [7]

Показник	Період твердіння, сут	Еталон	ГКЖ-94 (0,1%)	АДЕ-3 (0,1%)
1	2	3	4	5
Міцність при стиску, МПа	7	30,00	32,20	38,60
	14	36,90	38,40	49,60
	28	40,00	42,00	50,30
	90	46,70	49,70	59,90
	180	49,10	51,50	54,70
Міцність на розтяг при згині, МПа	7	3,10	3,42	3,49
	14	3,63	4,05	4,10
	28	4,55	4,90	4,98
	90	5,14	5,62	5,98
	180	5,68	6,10	6,25

Висновки

1. Хімічна основа гідрофобізуючої домішки значно впливає на кінцеві фізико-механічні властивості цементного каменю та бетону.

2. Кремнійорганічні сполуки бачаться оптимальними для підвищення основних властивостей бетону за їх мінімального процентного використання у складі бетонної суміші підвищують морозостійкість на 30...45 %, водонепроникність в 2,5...3 рази, міцність при стиску на 11...15 % і можуть

бути основою для комплексу матеріалів, синергетична дія котрих дозволить отримувати бетони з високими гідрофобними та економічно ефективними властивостями.

3. Гідрофобізуючі домішки з кольматуючим ефектом є домішками іноземного виробництва останнього покоління теж потребують досконалих досліджень їх впливу на цементі українського виробництва та властивості бетонів.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали. Модифіковані сухі будівельні суміші та водно-дисперсійні полімерні склади / П. В. Захарченко, Е. М. Долгий, Ю. А. Галаган, О. М. Гавриш. – Київ : КНУБА, 2005. – 512 с.
2. Мисников О. С. Исследование влияния композиционных гидрофобных добавок на основе торфа на свойства портландцемента / Мисников О. С., Иванов В. А. // Труды Инсторфа. – 2015. – № 12(65). – С. 3–11.
3. Несветаев Г. В. Влияние некоторых гидрофобизирующих добавок на изменение прочности цементного камня / Несветаев Г. В., Козлов А. В., Филонов И. А. // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 25. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-nekotoryh-gidrofobiziruyuschih-dobavok-na-izmenenie-prochnosti-tsementnogo-kamnya>.
4. Косинов Е. А. Регулирование свойств цемента модифицированной гидрофобизирующей добавкой: автореф. дис...канд. техн. наук :05.17.11 / Косинов Е. А. ; Рос. хим.-технолог. ун-т им. Д.И. Менделеева. – Москва, 2010. – 16 с.
5. Высокоэффективные химические модификаторы для получения заданных свойств/ Ткач Е. В., Рахимов М. А., Рахимова Г. М., Грибова В. С. // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2012. – № 3.– С. 126–130.
6. Дорошенко Ю. М. Модифікація цементобетону покриття доріг гідрофобними добавками / Ю. М. Дорошенко, В. П. Сербін, О. Ю. Дорошенко // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка / Укр. н.-д. і проект.-конструкт. ін-т буд. матеріалів та виробів, Держ. н.-д. ін-т санітар. техніки і обладнання будівель і споруд. – Київ, 2013. – Вип. 50. – С. 17–24. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bmvs_2013_50_4.
7. Возний С. П. Аналіз впливу гідрофобних добавок на міцність дорожнього цементобетону / С. П. Возний // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. зб. / Нац. трансп. ун-г. – Київ, 2017. – Вип. 99. – С. 39–48.
8. Мазурак Т. Гідрофобні бетони з покращеними показниками міцності, водонепроникності та морозостійкості / Т. Мазурак // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Архітектура і

сільськогосподарське будівництво. – Львів, 2014. – № 15. – С. 94–100. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau_2014_15_18.

9. Исследование влияния кремнийорганических соединений на показатели стандартного уплотнения и физико-механические свойства цементогрунта / Вдовин Е. А., Строганов В. Ф., Мавлиев Л. Ф., Буланов П. Е. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 255–261.
10. Mukesh Kumar. Effect of water proofing admixture on the hydration of Portland cement / Kumar Mukesh, Singh N. P., Singh N. B. // Indian Journal of Chemical Technology. – 2009. – Vol. 16. – P. 499–506.

REFERENCES

1. Zakharchenko P.V., Dolhyi E.M., Halahan Yu.A. and Havrysh O.M. *Suchasni kompozytsiini ozdobljuvalni materialy. Modyfikovani sukhi budivelni sumishi ta vodno-dispersiini polimerni sklady* [Modern composite finishing materials. Modified dry building mixtures and water-dispersion polymeric compositions]. Kyiv: KNUBA, 2005, pp. 222–225. (in Ukrainian).
2. Misnikov O.S. and Ivanov V.A. *Issledovanie vliyaniya kompozicionnykh gidrofobnykh dobavok na osnove torfa na svoystva portlandcementsa* [Investigation of the effect of composite hydrophobic additives on the basis of peat on the properties of portland cement]. *Trudy Instorfa* [Proceedings of Insortion]. 2015, no. 12(65), pp. 3–11. (in Russian).
3. Nesvetaev G.V., Kozlov A.V. and Filonov I.A. *Vliyanie nekotorykh gidrofobiziruyushchix dobavok na izmenenie prochnosti cementnogo kamnya* [Effect of some hydrophobic additives on the change in the strength of cement stone]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering bulletin of Don]. 2013, vol. 25. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-nekotoryh-gidrofobiziruyuschih-dobavok-na-izmenenie-prochnosti-tsementnogo-kamnya> (in Russian).
4. Kosinov E.A. *Regulirovanie svoystv cementa modifitsirovannoj gidrofobiziruyushchej dobavkoj: avtoref. dis k.t.n.: 05.17.11* [Regulation of cement properties with a modified hydrophobic additive: author's abstract of Cand. Sc. (Tech.) dissertation: 05.17.11]. Ros. xim.-texnolog. un-t im. D.I. Mendeleeva [Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia]. Moskva, 2010, 16 p. (in Russian).
5. Tkach E.V., Raximov M.A., Raximova G.M. and Gribova V.S. *Vysokoeffektivnye ximicheskie modifikatory dlya polucheniya zadannykh svoystv* [Highly effective chemical modifiers for obtaining specified properties]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of the Moscow State University of Construction]. Moskva, 2012, no. 3, pp. 126–130. (in Russian).
6. Doroshenko Yu.M., Serbin V.P. and Doroshenko O.Yu. *Modifikatsiya tsementobetonu pokryt'ia dorih hidrofobnyimi dobavkami* [Modification of cement-concrete coating of roads with hydrophobic additives]. *Budivelni materialy, vyrobny ta sanitarna tekhnika* [Building materials, products and sanitary equipment]. Ukr. n.-d. i proekt.-konstrukt. in-t bud. materialiv ta vyrobiv, Derzh. n.-d. in-t sanitarn. tekhniki i obladnannya budivel i sporud [Ukrainian Research and Design Institute of Building Materials and Products, State Research Institute of Sanitary Engineering and Equipment for Buildings and Structures]. Kyiv, 2013, iss. 50, pp. 17–24. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bmvs_2013_50_4. (in Russian).
7. Voznyi S.P. *Analiz vplyvu hidrofobnykh dobavok na mitsnist dorozhnoho tsementobetonu* [Analysis of the influence of hydrophobic additives on the strength of road cement concrete]. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo* [Traffic roads and roads construction]. Nats. transp. un-t [National Transport University]. Kyiv, 2017, iss. 99, pp. 39–48. (in Ukrainian).
8. Mazurak T. *Hidrofobni betony z pokrashchenymy pokaznykamy mitsnosti, vodonepronyknosti ta morozostijkosti* [Hydrophobic concrete with improved strength, water resistance and frost resistance]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Arkhitektura i silsko-hospodarske budivnytstvo* [Buletin of Lviv National Agrarian University. Series: Architecture and Agricultural Construction]. Lviv, 2014, no. 15, pp. 94–100. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vldau_2014_15_18. (in Ukrainian).
9. Vdovin E.A., Stroganov V.F., Mavliev L.F. and Bulanov P.E. *Issledovanie vliyaniya kremnijorganicheskix soedinenij na pokazateli standartnogo uplotneniya i fiziko-mexanicheskie svoystva tsementogrunta* [Investigation of the influence of organosilicon compounds on the parameters of a standard seal and the physical and mechanical properties of cement soil]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]. 2014, no. 4, pp. 255–261. (in Russian).
10. Mukesh Kumar. *Effect of water proofing admixture on the hydration of Portland cemen.* *Indian Journal of Chemical Technology*. 2009, vol. 16, pp. 499–506.

Рецензент: Шпірько М. В., д-р т. н., проф.

Надійшла до редколегії: 07.06.2017 р. Прийнята до друку: 17.06.2017 р.