

УДК 691.533

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.171.2017.111439>

**ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ВОДОСТІЙКОСТІ ГІПСОВИХ В'ЯЖУЧИХ
НАНОДИСПЕРСНИМИ МІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ**

Д-р техн. наук А. А. Пługін (УкрДУЗТ), д-р-інж. Х.-Б. Фішер (Веймарський АБУ),
канд. техн. наук О. С. Борзяк, асп. А. С. Єфіменко (УкрДУЗТ),
канд. техн. наук А. А. Жигло (ХНУМГ)

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ВОДОСТОЙКОСТИ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ
НАНОДИСПЕРСНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ**

Д-р техн. наук А. А. Пługін (УкрГУЖТ), д-р-інж. Х.-Б. Фішер (Веймарський АСУ),
канд. техн. наук О. С. Борзяк, асп. А. С. Єфіменко (УкрГУЖТ),
канд. техн. наук А. А. Жигло (ХНУГХ)

**INCREASE OF STRENGTH AND WATER RESISTANCE OF GYPSUM BENDING BY
NANODISPERSE MINERAL ADDITIVES**

DSc A. A. Plugin, D.Eng. H.-B. Fisher, PhD O. Borziak,
graduate A. Iefimenko, PhD A. Zhyhlo

Стаття присвячена дослідженню впливу мінеральних добавок на водостійкість будівельного гіпсу. Наведено результати експериментальних досліджень впливу добавок шлаку та нанодисперсного глинозему на міцність та водостійкість гіпсового каменю. Виконано електронно-мікроскопічні дослідження особливостей структури отриманого матеріалу. Установлено, що спільне введення в гіпс доменного гранульованого шлаку і нанодисперсного глинозему забезпечує підвищення міцності та водостійкості гіпсового каменю. За результатами електронно-мікроскопічних досліджень встановлено, що

поліпшення фізико-механічних властивостей гіпсового каменю відбувається за рахунок ущільнення його структури та збільшення частки електрогетерогенних контактів.

Ключові слова: будівельний гіпс, водостійкість, нанодисперсний глинозем, доменний гранульований шлак.

Статья посвящена исследованию влияния минеральных добавок на водостойкость строительного гипса. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния добавок шлака и нанодисперсного глинозема на прочность и водостойкость гипсового камня. Выполнены электронно-микроскопические исследования особенностей структуры полученного материала. Установлено, что совместное введение в гипс доменного гранулированного шлака и нанодисперсного глинозема обеспечивает повышение прочности и водостойкости гипсового камня. По результатам электронно-микроскопических исследований установлено, что улучшение физико-механических свойств гипсового камня происходит за счет уплотнения его структуры и увеличения доли электрогетерогенных контактов.

Ключевые слова: строительный гипс, водостойкость, нанодисперсный глинозем, доменный гранулированный шлак.

The article is devoted to the investigation of the effect of mineral additives on the water resistance of building gypsum. The results of experimental studies of the effect of additives of slag and nanodispersed alumina on the strength and water resistance of gypsum stone are presented. Electron-microscopic studies of the structural features of the material obtained are performed. It has been established that the joint introduction into gypsum of blast-furnace granular slag and nanodispersed alumina provides an increase in the strength and water resistance of gypsum stone. According to the results of electron microscopic studies, it is established that the improvement of the physicomaterial properties of gypsum stone is due to the compaction of its structure and an increase in the proportion of electroheterogeneous contacts.

Keywords: building gypsum, water resistance, nanodispersed alumina, blast-furnace granular slag.

Вступ. Гіпсові в'язучі речовини широко використовуються в будівництві, проте через певні недоліки галузь їх застосування обмежена приміщеннями із сухим і нормальним режимом. До основних недоліків гіпсового в'язучого можна віднести: недостатню водостійкість; недостатні експлуатаційні характеристики, слабку стійкість до стирання; недостатню міцність під дією навантаження, особливо у зволоженому стані. Тому підвищення водостійкості будівельного гіпсу залишається актуальним завданням.

Низька водостійкість гіпсових виробів обумовлена досить високою розчинністю двоводневого гіпсу (2,04 г/л при 20 °С). Крім того, вода, проникаючи в міжкристалічні порожнини гіпсового каменю,

адсорбується на твердих поверхнях, між якими виникає розклинювальний тиск, що розриває локальні контакти між кристалами. На сьогодні існує багато способів підвищення водостійкості гіпсу [1-3]: зниження водогіпсового відношення, використання полімерних добавок, просочення та гідрофобізація поверхонь гіпсового каменю, введення до складу в'язучого активних мінеральних добавок, що надають йому гідралітичних властивостей, утворюючи в процесі гідратації нерозчинні сполуки, а також добавок-мікронаповнювачів, що сприяють формуванню щільної структури гіпсового каменю. За даними [4-9] введення мінеральних добавок є найбільш ефективним та, одночасно, недорогим

способом підвищення водостійкості будівельного гіпсу.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Міцність гіпсового каменю визначають переважно електрогомогенні контакти між кристалогідратами гіпсу зі слабкою міжмолекулярною взаємодією. Ці контакти руйнуються навіть при незначних напругах [4-9]. У гіпсовому камені є і деяка кількість електрогетерогенних контактів із сильним електростатичним притяганням між різнойменно зарядженими гранями кристалогідратів, однак істотної ролі в забезпеченні міцності і водостійкості вони не відіграють.

Для забезпечення водостійкості та збільшення міцності гіпсових в'язучих необхідно до їх складу вводити добавки, що сприяють виникненню дисперсної фази з негативним рівноважним електроповерхневим потенціалом [4, 8]. Введення в гіпсовий камінь доменного гранульованого шлаку, що має негативний поверхневий заряд, приведе до утворення значної кількості міцних і водостійких електрогетерогенних контактів з позитивно зарядженими гранями кристалогідратів гіпсу в структурі гіпсового каменю [5, 7].

Для збільшення щільності гіпсового каменю можливе також застосування нанодисперсних наповнювачів, які, вбудовуючись у структуру, заповнюють міжкристалічні порожнини і сприяють ущільненню структури [6, 7]. У такому випадку кількість і дисперсність наповнювачів підбирається таким чином, щоб утворювалися щільні упаковки частинок матриці в прошарках між структуроутворювальними частинками: кристалогідратів гіпсу – між частинками шлаку, нанодисперсних частинок – між кристалогідратами гіпсу [5, 7]. Крім того, нанодисперсні частинки наповнювача можуть служити центрами кристалізації, підвищуючи дисперсність кристалогідратів та ущільнюючи структуру.

Визначення мети та завдання дослідження. Мета дослідження –

встановлення впливу добавок шлаку та нанодисперсного глинозему на фізико-механічні властивості та структуру гіпсового каменю. Завдання досліджень: експериментальне дослідження впливу добавок на фізико-механічні властивості гіпсового каменю, електронно-мікроскопічні дослідження особливостей структури отриманого матеріалу.

Матеріали і методи дослідження. Досліджено вплив нанодисперсних добавок на фізико-механічні властивості гіпсового каменю. В'язуча речовина – гіпс будівельний марки Г-10, добавки – основний доменний гранульований шлак ПАТ «ММК «Азовсталь», мелений до проходу крізь сито 008 не менше 85 % та мікронаповнювач – глинозем нанодисперсний (розмір часток 20-30 нм). Під час дослідження варіювався вміст компонентів: гіпсу (Г) – від 100 до 20 %, шлаку (Ш) – від 0 до 80 %, нанодисперсного глинозему (МН) – від 0 до 6 %, водо-тверде співвідношення (В/Т) – від 0,24 до 0,6. Склад та кількість добавок були визначені на основі [5, 6].

Для дослідження із суміші компонентів виготовляли зразки-балочки розміром 40×10×10 мм, на яких визначали міцність на стиск у сухому та водонасиченому стані та розраховували коефіцієнт водостійкості. Досліджено залежності: нормальної густоти гіпсового тіста від водо-твердого відношення; міцності на стиск у сухому й водонасиченому стані та коефіцієнта водостійкості від вмісту шлаку, нанодисперсного глинозему та водо-твердого відношення.

Електронно-мікроскопічні дослідження структури гіпсового каменю здійснювали на його відколах за допомогою скануючого електронного мікроскопа Philips XL 30 ESEM-FEG в інституті будівельних матеріалів ім. Ф. А. Фінгера Веймарського архітектурно-будівельного університету. Зйомку проводили під напругою 15 кВ.

Результати дослідження. Залежності міцності на стиск у сухому та водонасиченому стані, а також коефіцієнта водостійкості від вмісту шлаку та водо-твердого співвідношення наведені на рис. 1-3.

За даними випробувань установлено, що найбільшу міцність мають зразки, що виготовлені із суміші гіпсу (Г) та шлаку (Ш) за $B/T = 0,24$. Однак при такому водо-твердому відношенні суміш є нетехнологічною. Установлено, що гіпсо-шлакове тісто має нормальну густоту за $B/T = 0,36$.

За результатами визначення міцності в сухому стані найкращі показники мають зразки, у яких вміст шлаку становить 20 та 40 %, найкращий показник коефіцієнта водостійкості мають зразки, що містять 40 % шлаку ($\Pi/(\Gamma+\Pi) = 0,4$).

Тому для подальших досліджень впливу вмісту мікронаповнювача на міцність гіпсо-шлакову суміш готували при вмісті шлаку 40 % та $B/T = 0,36$.

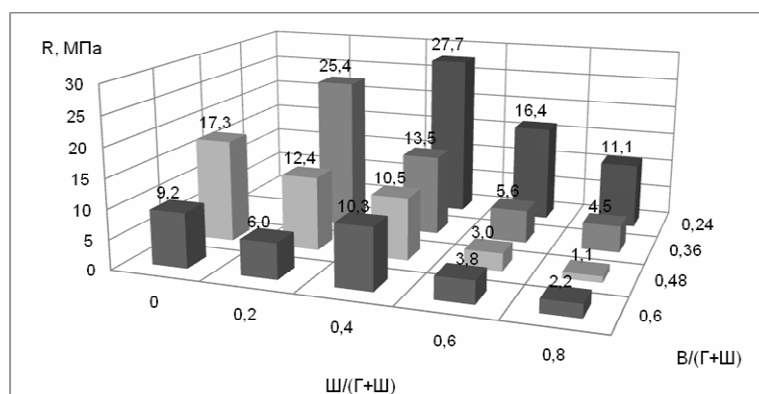


Рис. 1. Залежність міцності гіпсового каменю у сухому стані від вмісту шлаку ($\Pi/(\Gamma+\Pi)$) та водо-твердого співвідношення ($B/(\Gamma+\Pi)$)

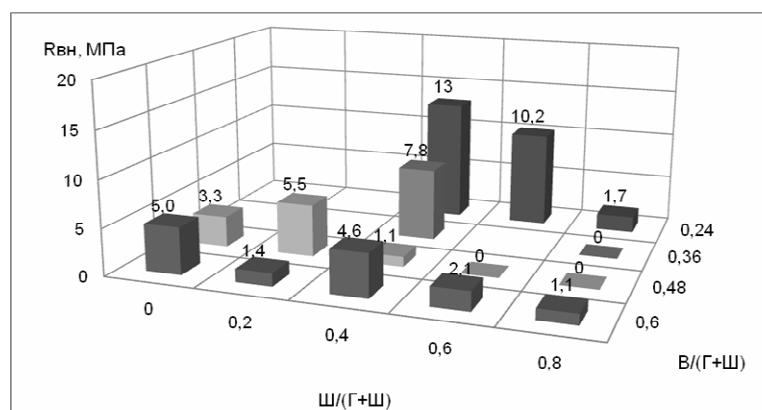


Рис. 2. Залежність міцності гіпсового каменю у водонасиченому стані від вмісту шлаку ($\Pi/(\Gamma+\Pi)$) та водо-твердого співвідношення ($B/(\Gamma+\Pi)$)

Залежність міцності у сухому стані гіпсо-шлакового каменю та його коефіцієнта водостійкості від вмісту мікронаповнювача наведено на рис. 4 та 5 відповідно.

За результатами досліджень установлено, що нанодисперсний глинозем значно підвищує міцність гіпсо-шлакового каменю у сухому стані – майже на 60 % за вмісту

МН 2 та 6 % і на 9 % за вмісту МН 4 %. У разі уведення мікронаповнювача в кількості більше ніж 2 % коефіцієнт водостійкості

зростає. На рис. 6 наведені результати електронно-мікроскопічних досліджень.

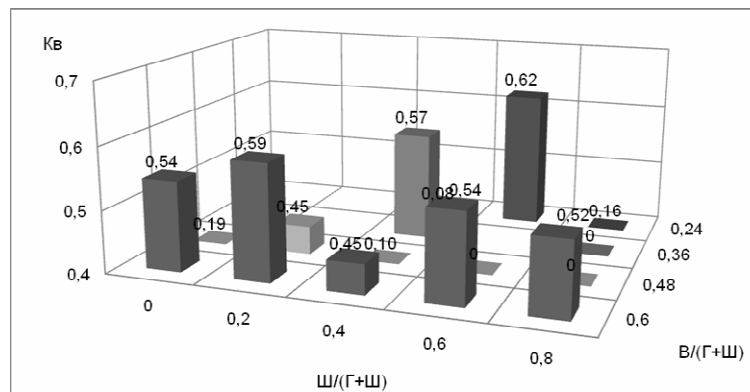


Рис. 3. Залежність коефіцієнта водостійкості від вмісту шлаку ($\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})$) та водо-твердого співвідношення ($\text{В}/(\text{Г}+\text{Ш})$)

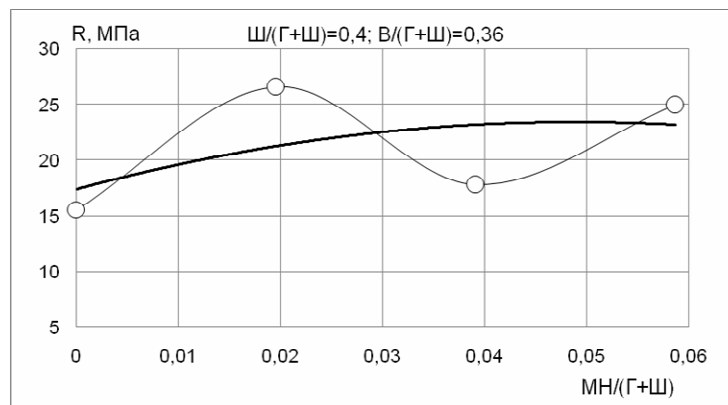


Рис. 4. Залежність міцності гіпсо-шлакового каменю у сухому стані від вмісту мікронаповнювача

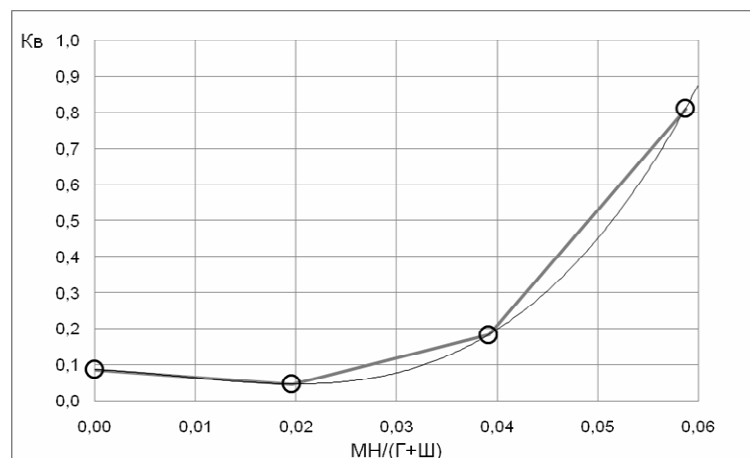


Рис. 5. Залежність коефіцієнта водостійкості гіпсо-шлакового каменю від вмісту мікронаповнювача

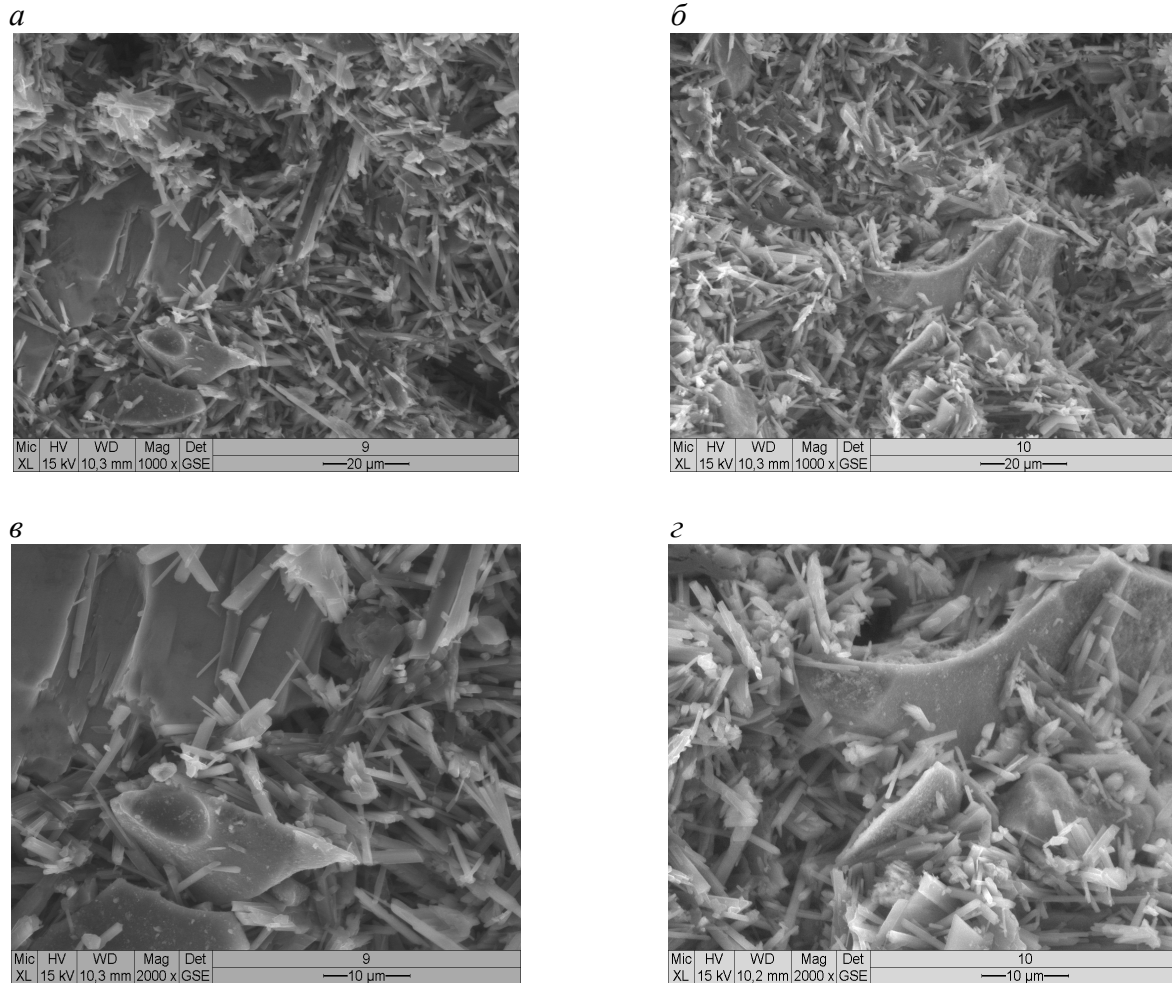


Рис. 6. Електронно-мікроскопічні знімки поверхні відколу гіпсо-шлакового каменю:
 а – $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})=0,4$; $\text{МН}=0$; збільшення $\times 1000$; б – $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})=0,4$; $\text{МН}=0,02$; збільшення $\times 1000$;
 в – $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})=0,4$; $\text{МН}=0$; збільшення $\times 2000$; г – $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})=0,4$; $\text{МН}=0,02$; збільшення $\times 2000$

Як видно на знімках, частки гіпсу розміщені на поверхні шлаку повздовжніми гранями, при цьому ознаки хімічної взаємодії між ними не спостерігаються. Структура зразків з мікронаповнювачем відрізняється тим, що кристали гіпсу мають менші розміри, спостерігаються також дрібнокристалічні агрегати, що певно формуються навколо часток мікронаповнювача, які є для них центрами кристалізації.

Висновки. Виконано експериментальні дослідження, у результаті яких установлено, що спільне введення в гіпс доменного гранульованого шлаку і нанодисперсного глинозему забезпечує значне підвищення міцності та водостійкості гіпсового каменю. За результатами електронно-мікроскопічних досліджень установлено, що поліпшення фізико-механічних властивостей гіпсового каменю відбувається за рахунок ущільнення його структури та збільшення частки електрогетерогенних контактів.

Список використаних джерел

1. Модифіковані гіпсові і сульфатно-шлакові в'язучі та матеріали на їх основі [Текст] / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, А. В. Мироненко [та ін.]. – Рівне: НУВГП, 2011. – 188 с.
2. Белов, В. В. Современные эффективные гипсовые вяжущие, материалы и изделия [Текст] / В. В. Белов, А. Ф. Бурьянов, В. Б. Петропавловская. – Тверь: ТГТУ, 2007. – 132 с.
3. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) [Текст] / под ред. А. В. Ферронской. – М.: АСВ, 2004. – 488 с.
4. Механизм структурообразования и дегидратации гипсовых вяжущих [Текст] / А. Н. Плугин, Х.-Б. Фишер, А. А. Плугин [и др.] // 36. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 5-22.
5. Повышение водостойкости строительного гипса минеральными добавками [Текст] / А. А. Плугин, Ал. А. Плугин, Х.-Б. Фишер [и др.] // 36. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 227–236.
6. Plugin A.A. Increase of gypsum water resistance by mineral additives / A.A.Plugin, O.A.Plugin, H.-B.Fisher, G.N.Shabanova // 1 Weimarer Gipstagung, 30–31 März 2011, Weimar: Tagungsbericht. – Weimar: FIB, Bauhaus–Universität Weimar, 2011. – N P21. – P.435–443.
7. Повышение водостойкости гипса добавками микронаполнителей [Текст] / А. А. Плугин, С. В. Воронин, О. С. Борзяк [и др.] // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА; ХОТБ АБУ, 2016. – №2 (84). – С. 239–242.
8. Plugin, A.N. The gypsum's structure and strength. The development of the concept about the structure / A.N.Plugin, A.A.Plugin, Yu.G.Gasan, Yu.A.Sukhanova // 2 Weimarer Gipstagung, 26–27 März 2014, Weimar: Tagungsbericht. – Weimar: FI B, Bauhaus–Universität Weimar, 2014. – N P59. – P.417–426.
9. Plugin, A.N. Structure and strength of gypsum: Mechanism of strength and water resistance / A.N.Plugin, A.A.Plugin, Yu.G.Gasan, H.-B.Fisher, O.A.Plugin // 2 Weimarer Gipstagung, 26–27 März 2014, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: FIB, Bauhaus–Universität Weimar, 2014. – N P60. – P.427–438.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри будівельних матеріалів конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63.

E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Фишер Ханс-Бертрам, д-р-інженер, керуючий кафедри будівельних матеріалів, інститут будівельних матеріалів ім. Ф.А.Фінгера, Веймарський архітектурно-будівельний університет. Тел. +49(0)3643-584712.

E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de.

Борзяк Ольга Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: borziak.olga@gmail.com.

Сфіменко Артем Сергійович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: a.efimenko03@gmail.com.

Жигло Анна Андріївна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельного виробництва і будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел. (057) 707-31-10. E-mail: anna.baranova@kname.edu.ua.

Plugin Andrii A., DSc, Professor, Head of Building Materials and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Hans-Bertram Fisher, Dr.-Ing., Betriebsleitung, Professur Werkstoffe des Bauens, F.A.Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar. Tel. +49(0)3643-584712, E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de.

Borziak Olga, PhD, associate professor, Building Materials and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: borziak.olga@gmail.com.

Iefimenko Artem, graduate student, Building Materials and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: a.efimenko03@gmail.com.

Zhyhlo Anna, PhD, associate professor, Department of Construction Technologies and Building Materials, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel. (057) 707-31-10. E-mail: anna.baranova@kname.edu.ua.

Стаття прийнята 16.08.2017 р.