

УДК 691.33+678.02: 621.365  
DOI: 10.15587/2313-8416.2016.78438

## ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕКОРАТИВНЫХ БЕТОНОВ

© С. Г. Гузий, С. А. Теренчук

*Представлены результаты экспериментальных исследований реологических и физико-механических свойств декоративных бетонов на основе геоцемента. Определен оптимальный состав исследуемого материала. Установлено, что введение в состав бетона молотого известняка увеличивает время стабилизации технологической вязкости, а добавки Murasan BWA 21 способствует сохранению геометрических размеров образцов в процессе выпрессовки. После СВЧ-сушки повышаются прочность на изгиб и морозостойкость при существенном снижении водопоглощения*

**Ключевые слова:** геоцементное вяжущее, добавки, декоративный бетон, пигменты, пластичность, прессование, прочность, технологическая вязкость, СВЧ-сушки, структура

*The results of experimental researches of rheological and physico-mechanical properties of geocement-based decorative concrete are shown. The optimum composition of the material is defined. It is determined that introduction of the ground limestone in the concrete increases the stabilization time of process viscosity and additives Murasan BWA 21 contributes to the preservation of the geometric dimensions of the samples in the process of pulling out. Bending strength and frost resistance with a significant decrease in water absorption are increased after microwave drying*

**Keywords:** geocement binder, additives, decorative concrete, pigments, plasticity, compression, strength, process viscosity, microwave drying, structure

### 1. Введение

Анализ литературных данных показывает [1–6], что декоративные бетоны находят широкое применение в реставрационно-восстановительных работах (элементы декора); строительстве жилых и общественных зданий и сооружений (устройство наливных полов, облицовочных и ограждающих конструкций); в дорожном строительстве (укладка плит и брусчатки, бордюров, компонентов дорожной маркировки).

Также декоративный бетон используют: при изготовлении садово-парковой скульптуры (скульптур, декоративных ваз, цветочниц), малых архитектурных форм (барельефов, парапетов, перил оград), т. е. там, где требуются яркие цвета и высокая отражательная способность.

В зависимости от состава и назначения декоративные бетоны подразделяют на цветные и имитирующие природные камни выразительной рельефности [3, 4].

Для получения цветных бетонов применяют белые (цветные) цементы, органические связующие [5], щелочестойкие пигменты [7–9], декоративные заполнители – чистые кварцевые пески, туф, слюду, молотый мрамор, молотое и колотое стекло, фибру – стеклянную и полимерную [6]. Изделия из декоративных бетонных смесей получают методом пластичного формования [4, 5] и полусухого прессования [10]. По первому методу бетонные смеси должны быть пластичными и не склонными к расслоению; по второму – способными к самоуплотнению с сохранением геометрических размеров. Для уменьшения расслоения, достижения равномерности окраски используют воздухововлекающие добавки, вводят в небольших количествах тонкие фракции жирной извести, известняка. Для сокращения расхода воды и

цемента используют пластификаторы, суперпластификаторы и комплексные добавки. Для сохранения свойств в течение длительного времени эксплуатации поверхность изделий из декоративных бетонов консервируют с помощью флоатирования, гидрофобизации и пропитки полимерами [11].

Декоративные бетоны на белом (цветном) цементе и органических связующих достаточно дорогие, не обеспечивают критериальные параметры по истираемости, деформативности и долговечности, т. е. сопротивляемости агрессивной среде.

Геоцемент [12–15] возможно применить в качестве альтернативного вяжущего для получения декоративных бетонных смесей и изделий из них. Данное вяжущее характеризуется экологичностью и высокой долговечностью за счет формирования в его структуре гидратных фаз, являющимися аналогами природных минералов – цеолитов и фельдшпатов [12–14], однако в данных источниках нет сведений о возможности получения на основе геоцементов декоративных материалов.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является исследования реологических и физико-механических свойств декоративных бетонов на основе геоцемента.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Обосновать набор критериев оптимизации структуры декоративного бетона.

2. Изучить влияние добавок на реологические свойства геоцемента и декоративных бетонов на его основе.

3. Исследовать полученные смеси с целью установления оптимального состава смеси, согласно заданным критериям.

#### 4. Материалы и методы исследования

Для получения декоративных смесей использовали: гецемент состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (2.5-3.5-4.5)\text{SiO}_2 \cdot (12-14.5-17)\text{H}_2\text{O}$ ; наполнителей – гранитный отсев и известняк фр. 1,25–2,5 мм; кварцевый песок с модулем крупности  $M_k=1,47$ ; отвердителя – глиноземистый цемент **SECAR 38R** (Kerneos, Франция); пластифицирующей добавки, влияющей на реологические свойства и жизнеспособность – молотый известняк: красителей – минеральные пигменты диоксид титана P. White 6; зеленый № 4900 (оксид хрома); железистые пигменты: желтый S 030, красный H 130 и синий № 5605 (Bayer, Германия). Пигменты вводили в состав декоративной смеси в количестве 7,5 % от общей массы смеси.

В качестве добавки, обеспечивающей геометрические размеры образцов бетона после выпрессовки, использовали Murasan BWA 21 (Bauhemi, Германия).

Физические, реологические и физико-механические свойства декоративных бетонных смесей и бетонов на основе гецементов (ТУ У 23.5-02070909-001:2016. Зв'язуюче алюмосилікатне лужне) определяли на основе действующих в Украине нормативно-технических документов.

Декоративные бетоны размерами 12,5×12,5×1 см получали методом изостатического прессования, при удельном давлении 15 МПа с выдержкой 20 с. Отверждение материалов осуществляли в СВЧ печи при температуре 110 °С на протяжении 15 мин.

Микроструктуру камня исследовали на сканирующем микроскопе РЕММА-101А (Украина); макроструктуру – цифровым микроскопом Dino-Lite Pro-AM413T5 (ANMO Electronics Corporation, Taiwan) с камерой 1,3 Мп при цифровом увеличении ×500.

Оптимизацию состава гецементов и декоративных бетонов на его основе осуществляли в программной среде Statistica 10.0 с помощью трехфакторного трехуровневого метода планирования эксперимента.

#### 5. Результаты исследования

На основании выше приведенного обзора возможно выдвинуть набор критериев оптимизации структуры декоративного бетона на основе гецементов с учетом того, что изделия с него будут получены методом полусухого прессования:

– реологические: сохранность технологической вязкости смеси, не менее 2 часов; обеспечение пластической прочности смеси, не менее 30 Па;

– физическо-механические: плотность не менее 2000 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение не менее 2,5 %, морозостойкость не менее 150 циклов, прочность на изгиб, не менее 4 МПа.

В результате оптимизации состава гецементов вида  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (2.5-3.5-4.5)\text{SiO}_2 \cdot (12-14.5-17)\text{H}_2\text{O}$  установлено оптимальное соотношение основных структурообразующих оксидов  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3.83$  и  $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=13.67$  и добавки  $\text{CaCO}_3$  в количестве 5 масс. %, обеспечивающих соблюдение реологического критерия, а именно сохранение технологической вязкости 197±2 мм (рис. 1, а) и пластической

прочности 37 Па (рис. 1, б) на протяжении 240 мин. после приготовления.

Сохранение технологической вязкости декоративной смеси возможно достигнуть за счет введения в гецемент состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3,83\text{SiO}_2 \cdot 13,67\text{H}_2\text{O}$  оптимального количества  $\text{CaCO}_3$ , не применяя дорогостоящих пластификаторов [16].

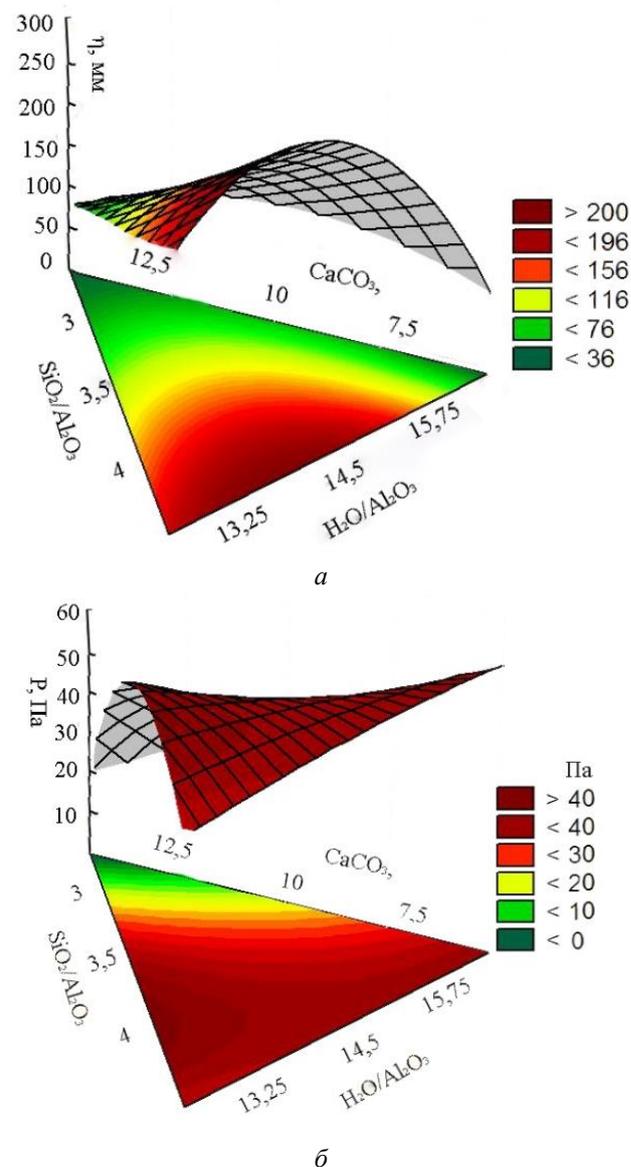


Рис. 1. Тернарные поверхности влияния основных структурообразующих оксидов и добавки на изменение реологических свойств гецементов: а – технологической вязкости; б – пластической прочности

На начальных этапах твердения обеспечение данных показателей осуществляется за счет формирования в гецементной матрице цеолитоподобных скрытокристаллических фаз типа: анальцима  $\text{Na}\{\text{AlSi}_2\text{O}_6\} \cdot \text{H}_2\text{O}$ , натролита  $\text{Na}_2\{\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , цеолита P  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (3.3-5.3)\text{SiO}_2 \cdot (4.3-5.7)\text{H}_2\text{O}$ , что подтверждается данными работ [12–14], а также вновь зафиксированными фазами типа пирсонита  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , гейллуита  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ .

·5H<sub>2</sub>O, фэйрчильдита Na<sub>2</sub>Ca(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и карбонат содержащего цеолита ZSM-21 (рентгенограммы искусственного камня состава Na<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3,83SiO<sub>2</sub>·×13,67H<sub>2</sub>O, модифицированного 5масс.% CaCO<sub>3</sub> в данной статье не приведены).

Для выполнения условий второго критерия осуществлена оптимизация структуры образцов плит, полученных методом полусухого прессования, из декоративных смесей на основе оптимального состава геоцемента Na<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3,83SiO<sub>2</sub>·13,67H<sub>2</sub>O (рис. 2). В качестве варьированных факторов использовали расходы: геоцемента от 15 до 30 % (фактор X<sub>1</sub>), отвердителя от 2,5 до 7,5 % (фактор X<sub>2</sub>) структурно стабилизирующей добавки Murasan BWA 21 в количестве от 0,1 % до 0,5 % (фактор X<sub>3</sub>).

Оптимальное соотношение между наполнителями гранитным отсеком и кварцевым песком, которое обеспечивает максимальную плотность и наполненность структуры искусственного камня, принято, как 60:40. Количество заполнителя изменялось в % соотношении в зависимости от изменений факторов варьирования.

Отвердитель, совместно с кальцитом (CaCO<sub>3</sub>), способствует нарастанию скорости кристаллизации гидратных фаз геоцемента и повышению его водостойкости за счет образования водонерастворимого карбоалюмината.

В результате оптимизации установлено оптимальное соотношение между компонентами декоративной смеси, масс. %: геоцемент – 20, отвердитель – 5,8 %, добавка Murasan BWA 21.–0,1. Данное соотношение компонентов декоративной смеси соответствует физико-механическому критерию: средняя плотность – 2098 кг/м<sup>3</sup>; прочность при изгибе 4,7 МПа; водопоглощение за массой 2,5 %; морозостойкость 200 циклов попеременного оттаивания – замораживания (I метод по ДСТУ Б В.2.7-48-96).

Макро- и микроструктура декоративного искусственного камня оптимального состава без пигмента и с пигментом приведена на рис. 3, 4.

По данным цифровой микроскопии (рис. 3, а) структура камня плотная, не просматривается явное наличие открытых пор, зерна наполнителя прочно соединены между собой геоцементом, что подтверждается данными электронной микроскопии (рис. 3, б–г). На микрофотографии микроструктуры (рис. 3, в) четко просматриваются призматические кристаллы натролита, октаэдрические кристаллы анальцима, сфероидальные кристаллы цеолита Р, зерна наполнителя, пластинчатые кристаллы гейллюсита и хлопьевидные кристаллы карбонат содержащего цеолита ZSM-21 (рис. 3, г).

Введение в состав геоцементного бетона пигментов не способствует изменению состава продуктов гидратации и снижению его физико-механических характеристик, наоборот, способствует уплотнению структуры декоративного камня за счет заполнения микропор частицами пигмента (рис. 4, а–г).

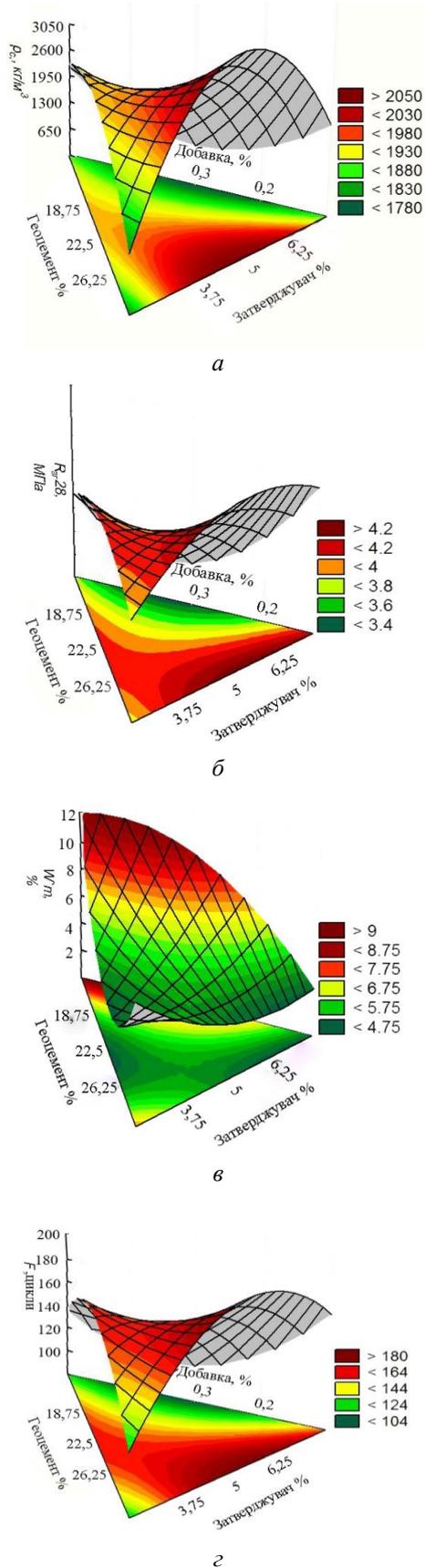
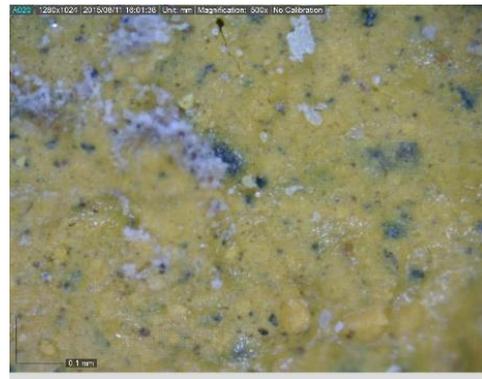


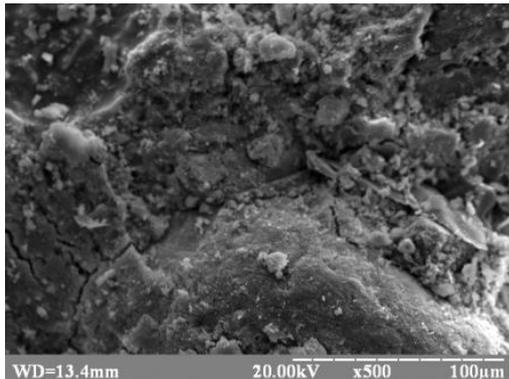
Рис. 2. Тернарные поверхности влияния компонентного состава смеси на изменение физико-механических свойств образцов из геоцементного декоративного бетона: а – средней плотности; б, в – прочности при изгибе после СВЧ обработки; г – морозостойкости



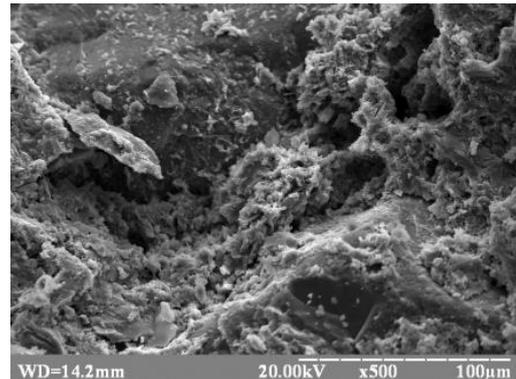
*a*



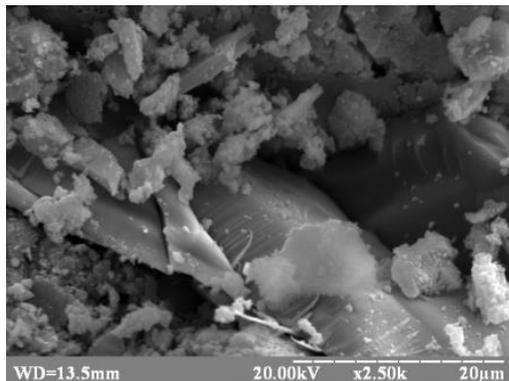
*a*



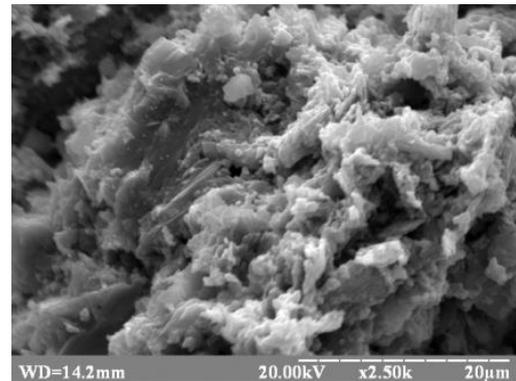
*б*



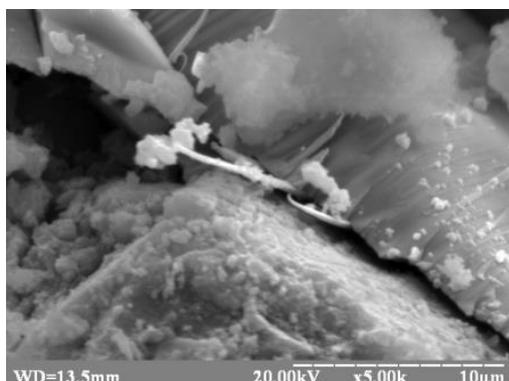
*б*



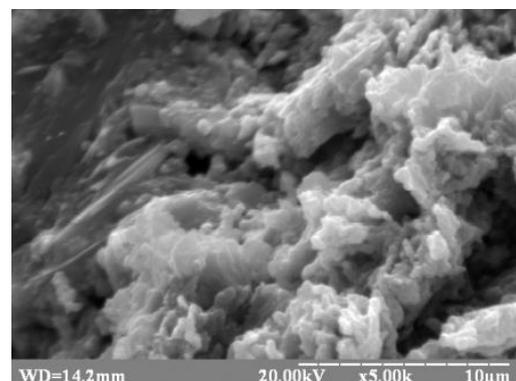
*б-з*



*б-з*



*з*



*з*

Рис. 3. Цифровые и электронные микрофотографии структуры декоративного бетона оптимального состава без пигмента:  
*a* – макроуровень;  
*б-з* – микроуровень

Рис. 4. Цифровые и электронные микрофотографии структуры декоративного бетона оптимального состава при содержании желтого пигмента S 030 в количестве 7,5 масс. %:  
*a* – макроуровень;  
*б-з* – микроуровень

Внешний вид прессованных декоративных бетонов на основе геоцемента приведен на рис. 5.



Рис. 5. Цветовая гамма образцов декоративного бетона на основе геоцемента

Вводя в состав геоцементной бетонной смеси различные комбинации минеральных пигментов, возможно получать декоративные фасадные плиты, изделия малых архитектурных форм и др.

#### 6. Выводы

1. Установлена принципиальная возможность получения на основе геоцементов декоративных бетонов для ограждающих конструкций. С помощью математического моделирования определен оптимальный состав декоративного геоцементного бетона: 20 % геоцемента, 5,8 % отвердителя и 0,1 % добавки – модификатора. Декоративный бетон на основе данного состава после СВЧ-сушки характеризуется прочностью при изгибе 4,7 МПа, водопоглощением 2,5 %, морозостойкостью F200.

2. Показано, что присутствие цеолитоподобных новообразований способствует повышению атмосферостойкости, прочности при изгибе, увеличению водостойкости и морозостойкости изделий из данного вида бетона.

3. Установлено положительное влияние добавки Mugasan BWA 21 на сохранность, как объема, так и геометрических размеров образцов в момент их выпрессовки и транспортировании на участок СВЧ-сушки.

4. Декоративные бетоны на основе геоцемента можно рекомендовать для изготовления декоративных фасадных плит, изделий малых архитектурных форм и др.

#### Литература

1. Франк, Г. А. Опыт получения декоративных бетонов на основе обычных цементов и рядовых заполнителей [Текст] / Г. А. Франк, Р. Г. Амбарцумян, Э. М. Геллер и др. // Технология декоративных цементов и бетонов. – Новочеркасск, 1977. – С. 62–63.

2. Красулина, Л. В. Декоративные облицовочные материалы из модифицированного мелкозернистого бетона [Текст] / Л. В. Красулина, И. Л. Потапова // Тр. Междунар. научно-метод. семинара “Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства”. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 95–103.

3. Деденева, Е. Б. Применение декоративных мелкозернистых бетонов для малых архитектурных форм [Текст] / Е. Б. Деденева, О. И. Демина, А. В. Рачковский, Н. А. Романчук, Е. И. Климова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2016. – Вып. 3 (48). – С. 108–111.

4. Fox, J. Concrete Staining Adds Color to Flooring [Text] / J. Fox // Sioux City Journal. – 2009.

5. Приймаченко, А. С. Высококачественные декоративные бетоны [Текст]: зб. наук. пр. / А. С. Приймаченко, В. А. Метелюк, А. А. Москаленко, Е. В. Тихолаз, И. А. Трофимова // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2016. – вип. 32. – С. 98–104.

6. Nasvik, J. Using Metakaolin in Decorative Concrete Mixes [Text] / J. Nasvik // Concrete Construction. – 2006. – Vol. 51, Issue 8. – P. 52.

7. Кузьмина, В. П. Пигменты для лакокрасочной промышленности [Текст] / В. П. Кузьмина // Строительные материалы. – 2000. – № 10. – С. 46–47.

8. Трофимов, В. И. Анализ свойств синтетических пигментов для архитектурного бетона [Текст] / В. И. Трофимов, Л. И. Крамар // Вестник ЮУрГУ. – 2010. – № 15. – С. 36–38.

9. Крамар, Л. И. Железоокисные пигменты для декоративных бетонов [Текст] / Л. И. Крамар, В. И. Трофимов, И. П. Добровольский // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 17. – С. 51–55.

10. Дударь, И. Н. Твердение цементного камня под давлением [Текст] / И. Н. Дударь // Цемент. – 1989. – № 7. – С. 10–14.

11. Соколов, В. Г. Долговечность прессованных бетонов [Текст] / В. Г. Соколов // Строительные материалы. – 1994. – № 10. – С. 22–26.

12. Krivenko, P. Mineralogical Aspects of Durable Geocement Matrix Formation – Role of Alkali [Text] / P. Kryvenko, H. L. Cao, L. Q. Weng, E. Kavalerova // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1004–1005. – P. 1523–1530. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1004-1005.1523

13. Chiara, L. Sviluppo di nuovi materiali geopolimerici per l'applicazione nel settore dei beni culturali [Text] / L. Chiara // Alma Mater Studiorum – Università di Bologna. Anno Accademico. – 2009–2010. – 131 p.

14. Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes [Text] / F. Pacheco-Torgal (Ed.) et. al. – Woodhead Publishing in Elsevier, Oxford, UK, 2014. doi: 10.1016/B978-1-78242-276-1.50032-0

15. Гузий, С. Г. Геоцементы и материалы на их основе [Текст]: VII Междунар. конф. / С. Г. Гузий // Стратегия качества в промышленности и образовании. – Болгария, 2011. – Т. 1. – С. 86–89.

16. Гузій, С. Г. Дослідження реологічних властивостей модифікованих геоцементів [Текст] / С. Г. Гузій, П. В. Кривенко, В. І. Киричок, А. В. Кравченко, Я. Манак // Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка. – 2013. – № 48. – С. 89–93.

#### References

1. Frank, G. A., Ambarcumjan, R. G., Geller, Je. M. (1977). Experience in producing decorative concrete on the basis of ordinary cement and ordinary aggregates. Technology decorative cements and concretes. Novocheerkassk, 62–63.

2. Krasulina, L. V., Potapova, I. L. (2013). Decorative facing materials from modified fine concrete. Proc. Intern. Scientific method. Seminar "Issues of design standards and standards of the European Union in the field of construction". Minsk: Belarusian National Technical University, 95–103.

3. Dedeneva, O. B., Demina, O. I., Rachkovskij, A. V., Romanchuk, N. A., Klimova, E. I. (2016). Application of decorative fine-grained concretes for small architectural forms. Col-

lection Naukova Prace Harkivskogo universitetu Povitrynih Forces, 3 (48), 108–111.

4. Fox, J. (2009). Concrete Staining Adds Color to Flooring. *Sioux City Journal*.

5. Primachenko, A. S., Meteljuk, V. A., Moskalenko, A. A., Tiholaz, E. V., Trofimova, I. A. (2016). High-quality decorative concrete. *Resursoekonomni materials, structures, buildings and facilities. Rivne National University of Water Management and Nature*, 32, 98–104.

6. Nasvik, J. (2006). Using Metakaolin in Decorative Concrete Mixes. *Concrete Construction*, 51 (8), 52.

7. Kuzmina, V. P. (2000). The pigments for the paint industry. *J. Building materials*, 10, 46–47.

8. Trofimov, V. I., Kramar, L. I. (2010). Analysis of the synthetic pigments properties for architectural concrete. *Bulletin of the South Ural Technical University*, 15, 36–38.

9. Kramar, L. I., Trofimov, V. I., Dobrovolskij, I. P. (2012). Iron oxide pigments for decorative concrete. *Bulletin of the South Ural Technical University*, 17, 51–55.

10. Dudar, I. N. (1989). Hardening of cement paste under pressure. *J. Cement*, 7, 10–14.

11. Sokolov, V. G. (1994). The durability of the pressed concrete. *J. Building materials*, 10, 22–26.

12. Krivenko, P., Cao, H. L., Weng, L. Q., Kavalerova, E. (2014). Mineralogical Aspects of Durable Geocement Matrix Formation – Role of Alkali. *Advanced Materials Research*, 1004–1005, 1523–1530. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1004-1005.1523

13. Chiara, L. (2009–2010). Sviluppo di nuovi materiali geopolimerici per l'applicazione nel settore dei beni culturali. *Alma Mater Studiorum – Università di Bologna. Anno Accademico*, 131.

14. F. Pacheco-Torgal (Ed.) et al. (2014). *Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes*. Woodhead Publishing in Elsevier, Oxford, UK. doi: 10.1016/B978-1-78242-276-1.50032-0

15. Guzij, S. G. (2011). Geocementy i materialy na ih osnove. *Strategija kachestva v promyshlennosti i obrazovanii. Bolgarija*, 1, 86–89.

16. Guzii, S. G., Krivenko, P. V., Kirichok, V. I., Kravchenko, A. V., Manak, Ja. (2013). Research rheology modified geocement. *Construction materials and sanitary equipment: Proc.-Tech. Coll.*, 48, 89–93.

*Рекомендовано к публикации в журнале «Технічні науки» №9/2(26)2016  
Дата надходження рукопису 26.07.2016*

**Гузій Сергій Григорьевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В. Д. Глуховского, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина, 03037  
E-mail: [sguziy@ukr.net](mailto:sguziy@ukr.net)

**Теренчук Светлана Анатольевна**, кандидат физико-математических наук, доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина, 03037  
E-mail: [terenchuksa@ukr.net](mailto:terenchuksa@ukr.net)

УДК 658.7:656.2

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.78520

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ СОЗДАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В УКРАИНЕ

© Е. С. Алешинский, В. В. Мещеряков, Л. В. Белоус

*В статье представлен способ повышения конкурентоспособности железных дорог. Приведены модели развития железнодорожного транспорта с негосударственной собственностью. Был проведен анализ основных моделей функционирования кластеров в мировой практике. Рассмотрен кластерный подход к организации перевозочного процесса, приведены свойства кластера и их классификация, схема построения, транспортно-логистического кластера (ТЛК)*

**Ключевые слова:** транспортно-логистический кластер, конкурентоспособность, кластерный подход, диверсификация, инфраструктура, факторы производства, глобализация

*The article presents a method to increase competitiveness of railways. The models of the development of railway transport with non-state property are shown. An analysis of the main models of functioning clusters in the world is conducted. The cluster approach to the organization of the transportation process is considered. The properties of the cluster and their classification, scheme for the construction of transport and logistics cluster (TLC) are shown*

**Keywords:** transport and logistics cluster, competitiveness, cluster approach, diversification, infrastructure, factors of production, globalization

### 1. Введение

На протяжении последних лет Украина направляет основные усилия к внедрению общемировой модели рыночных отношений во все сферы жизни страны. Но большинство отраслей народного

хозяйства не отвечают требованиям качества развитых стран. Железнодорожный транспорт – не исключение.

Сегодня транспортный сектор экономики Украины в целом удовлетворяет только базовые по-