

УДК 666.973.6

**А. Н. ЕФРЕМОВ<sup>а</sup>, А. В. НАЗАРОВА<sup>б</sup>, Е. М. ВИШТОРСКИЙ<sup>с</sup>, Д. Г. МАЛИНИН<sup>а</sup>**<sup>а</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», <sup>б</sup> ИСА и ЖКХ ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет им В. Даля», <sup>с</sup> ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет»

## **ПЕНОБЕТОННЫЕ СМЕСИ ПОНИЖЕННОГО ВОДОСОДЕРЖАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДОРЕДУЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены показатели текучести пенобетонных смесей на основе белкового пенообразователя «Эталон» с использованием водоредуцирующих добавок различного химического действия: «Хемикс Art-2», «Форт УП-2» и «Sika Mix Plus». Представлено сравнение текучести пенобетонных смесей при равных значениях водоцементного отношения. Определены зависимости плотности и прочности пенобетонов с применением водоредуцирующих добавок различной химической природы от водоцементного отношения.

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, пенобетон, пенобетонные смеси, водоцементное отношение, водосодержание, пенообразователь.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Водопотребность является основным фактором, определяющим физико-механические свойства пенобетона. Снижение водотвердого отношения (В/Т) без потери подвижности пенобетонной смеси – кардинальный путь повышения качества и долговечности пенобетонных изделий [1, 2].

Количество воды, вводимое в любую бетонную смесь, всегда превышает необходимое количество для гидратации вяжущего [3], а в пенобетонных смесях составляет от 50 до 85 % [4, 5] объема их плотной фазы. В присутствии такого количества воды частицы вяжущего отделены друг от друга значительными прослойками свободной воды, обеспечивающими текучесть дисперсной системы.

Известно, что для получения качественной пеномассы требуется повышенное содержание воды, а В/Ц должно составлять 0,5...0,9 [3, 6]. Дальнейшее участие этой воды при схватывании и наборе прочности оказывает только отрицательное воздействие: не участвующая в гидратации вяжущего физически связанная вода не позволяет получить расплучную прочность в ранние сроки (что ведет к сокращению оборачиваемости форм), а после её испарения контракционная пористость цементного камня в межпоровых перегородках не позволяет получить высокие показатели морозостойкости и водонепроницаемости и, как следствие, теплопроводности в естественных условиях [2, 6].

Важным фактором получения неавтоклавно пенобетона из смесей пониженного водосодержания является применение в его составе водоредуцирующих добавок. Известно, что водоредуцирующие добавки при снижении водосодержания в бетонных смесях повышают прочностные характеристики бетонов [7-10]. Даже при введении в растворную смесь в малых количествах эти добавки оказывают значительное влияние на процессы гидратации цемента, что сказывается на свойствах пенобетонных смесей и пенобетонов.

Введение водоредуцирующих добавок в растворную смесь способствует изменению воды сольватных оболочек частиц новообразований цемента. При адсорбции поверхностно-активного вещества (ПАВ) на поверхности твердой фазы объем воды в сольватных оболочках уменьшается, а объем свободной воды возрастает. Это приводит к улучшению реологии смеси, но замедляет твердение цемента [4].

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В исследованиях А. Б. Стешенко рассмотрено использование пластификатора «Неолас 5.2» в производстве неавтоклавных пенобетонов [11]. При введении добавки Неолас 5.2 в количестве 0,1 % от массы цемента смесь становится более пластичной, текучесть пенобетонной смеси с добавкой на приборе Суттарда увеличилась с 10,5 до 14,5 см.

Исследованиями, выполненными в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, установлено, что при использовании пластифицирующей добавки С-3 м в пределах 0,25–0,75 % от массы цемента увеличивается текучесть ячеистобетонных смесей, а также сокращена их водопотребность на 40 % [7].

**Целью работы** является исследование влияния водоредуцирующих добавок различного химического действия на текучесть пенобетонных смесей, а также плотность и прочность пенобетона с применением белкового пенообразователя «Эталон».

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В данной работе использовался цемент ЦЕМ-I 42,5 Н Амвросиевского цементного завода объединения «Цемент Донбасса», отвечающий требованиям ГОСТ 30515 2013. Белковый пенообразователь «Эталон» челябинской фирмы «Аист», изготовленный по ТУ 2483-003-13420175-2015, водоредуцирующие добавки: «Хемикс Art-2» и «Форт УП-2» российского производства, а также «Sika Mix Plus» швейцарского концерна. Расход цемента и пенообразователя был определен исходя из предполагаемой плотности пенобетона в сухом состоянии – 600 кг/м<sup>3</sup>. В качестве ускорителя схватывания и твердения пенобетона был использован сульфат натрия (СН) в количестве 1 % от массы цемента.

В соответствии с рекомендациями производителей количество вводимой добавки «Хемикс Art-2» составило 0,65...1,1 %, «Форт УП-2» – 0,5...0,7 %, при использовании «Sika Mix Plus» – 0,05...0,2 % от массы цемента.

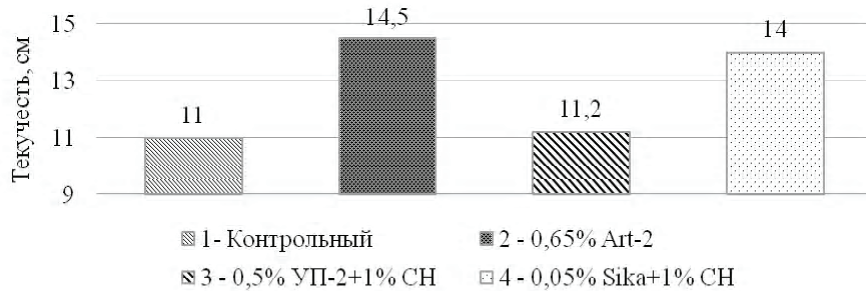
Неавтоклавный пенобетон производился по одностадийной технологии, которая предусматривает введение пенообразователя в заранее приготовленную растворную смесь. Приготовление производилось в лабораторном миксере со скоростью 1 000 об/мин. Время перемешивания составило 4–6 мин. Текучесть пенобетонной смеси была определена с помощью прибора Суттарда. Составы неавтоклавных пенобетонов приведены в таблице.

Таблица – Составы неавтоклавных пенобетонов

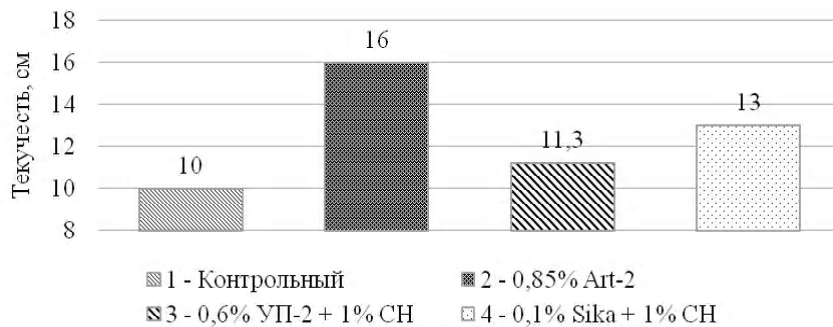
| № состава               | В/Ц  | Текучесть, см    |                    | Плотность кг/м <sup>3</sup> |                             | Прочность в 28 сут, МПа |
|-------------------------|------|------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                         |      | растворной смеси | пенобетонной смеси | пенно-массы                 | пенобетона в сух. состоянии |                         |
| 1. Контрольный          | 0,42 | 19,5             | 11                 | 686                         | 612                         | 2,5                     |
| 2. 0,65 % Art-2         | 0,42 | 39               | 14,5               | 598                         | 477                         | 1,5                     |
| 3. 0,5 % УП-2 + 1 % СН  | 0,42 | 20               | 11,2               | 609                         | 489                         | 1,7                     |
| 4. 0,05 % Sika + 1 % СН | 0,42 | 19,5             | 14                 | 695                         | 555                         | 2,5                     |
| 1. Контрольный          | 0,4  | 18,5             | 10                 | 789                         | 662                         | 2,9                     |
| 2. 0,85 % Art-2         | 0,4  | 35               | 16                 | 633                         | 506                         | 1,8                     |
| 3. 0,6 % УП-2 + 1 % СН  | 0,4  | 20               | 11,3               | 609                         | 511                         | 1,9                     |
| 4. 0,1 % Sika + 1 % СН  | 0,4  | 16,5             | 13                 | 718                         | 602                         | 2,5                     |
| 1. Контрольный          | 0,38 | 15,5             | 9                  | 982                         | 790                         | 4,8                     |
| 2. 1,1 % Art-2 + 1 % СН | 0,38 | 39               | 18                 | 668                         | 553                         | 3,3                     |
| 3. 0,7 % УП-2 + 1 % СН  | 0,38 | 16,5             | 12,2               | 722                         | 602                         | 2,3                     |
| 4. 0,2 % Sika + 1 % СН  | 0,38 | 16,5             | 12,2               | 893                         | 719                         | 4,1                     |

На рисунках 1–3 представлена текучесть пенобетонных смесей с применением водоредуцирующих добавок различного химического действия при В/Ц от 0,42 до 0,38.

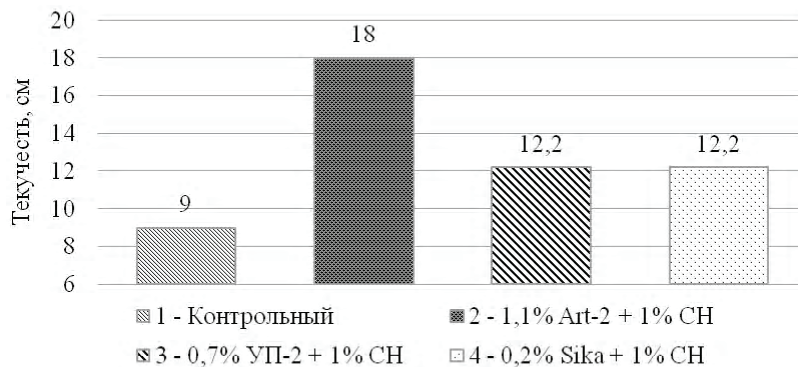
При водоцементном отношении равном 0,42 (рис. 1) с использованием водоредуцирующей добавки «Хемикс Art-2» в количестве 0,65 % от массы цемента увеличил текучесть пенобетонной смеси на 32 %, состав с добавкой «Sika Mix Plus» в количестве 0,05 % от массы цемента – на 27 %. Присутствие добавки «Форт УП-2» в количестве 0,5 % от массы цемента практически не повлияло на текучесть смеси в сравнении с контрольным составом.



**Рисунок 1** – Текучесть пенобетонных смесей при В/Ц равном 0,42.



**Рисунок 2** – Текучесть пенобетонных смесей при В/Ц равном 0,4.



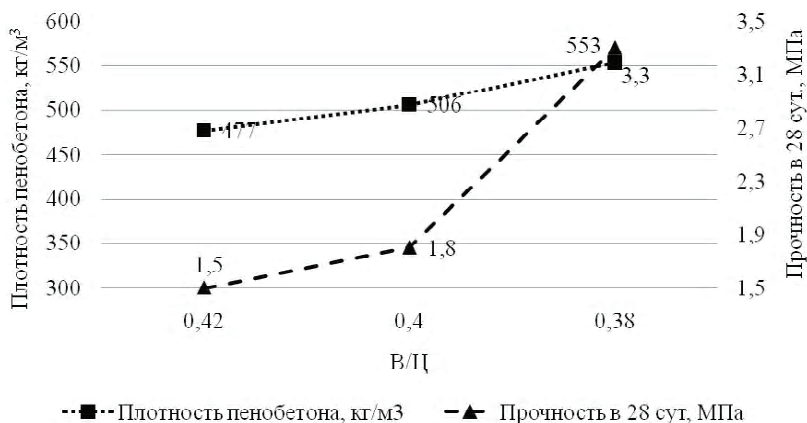
**Рисунок 3** – Текучесть пенобетонных смесей при В/Ц равном 0,38.

С уменьшением водоцементного отношения до 0,4 (рис. 2) и увеличением расхода добавки «Хемикс Art-2» до 0,85 % от массы цемента текучесть смеси увеличена на 52 %, состава с добавкой «Sika Mix Plus» – на 23 %. Состав с добавкой «Форт УП-2» в количестве 0,6 % повысил текучесть смеси на 13 %.

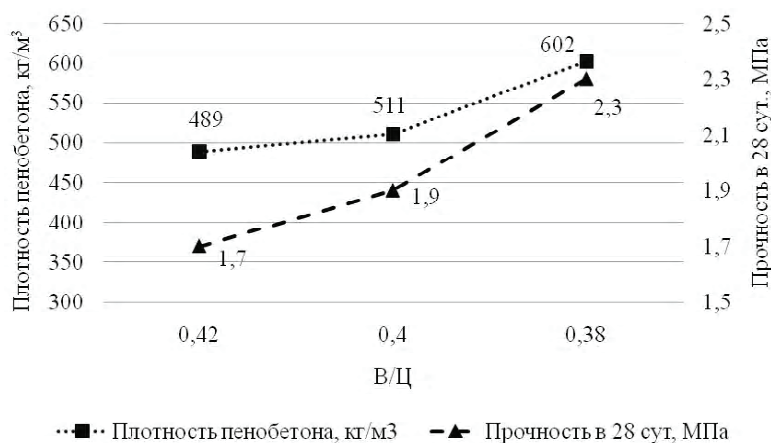
При водоцементном отношении равном 0,38 (рис. 3) добавка «Хемикс Art-2» в количестве 1,1 % от массы цемента увеличивает текучесть пенобетонной смеси на 89 %. Очевидно, что с применением добавки «Хемикс Art-2» уменьшается размер пузырьков вовлеченного воздуха, что и придает высокую пластичность пенобетонной смеси. С использованием добавок «Sika Mix Plus» и «Форт УП-2» текучесть полученных смесей увеличена на 26 % в сравнении с контрольным составом.

На рисунках 4–6 представлены зависимости плотности и прочности пенобетонов с применением водоредуцирующих добавок различного химического действия от водоцементного отношения.

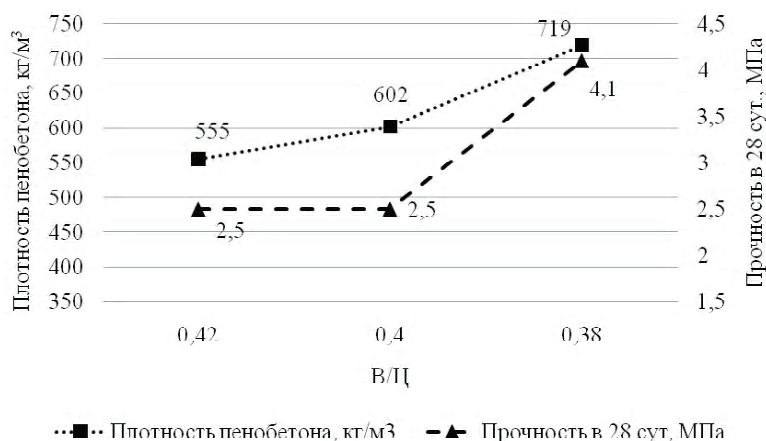
Из рисунков 4–6 следует, что со снижением водоцементного отношения повышается плотность пенобетона, что влечет за собой и повышение прочности. При уменьшении В/Ц с 0,4 до 0,38 и увеличении количества добавки «Хемикс Art-2» с 0,85 до 1,1% от массы цемента (рис. 4) прочность неавтоклавного пенобетона в 28 суток возросла с 1,8 до 3,3 МПа, однако плотность повысилась незначительно, с 506 до 553 кг/м<sup>3</sup>.



**Рисунок 4** – Зависимость плотности и прочности пенбетонных смесей с применением водоредуцирующей добавки «Хемикс Art-2» от водоцементного отношения.



**Рисунок 5** – Зависимость плотности и прочности пенбетонных смесей с применением водоредуцирующей добавки «Форт УП-2» от водоцементного отношения.



**Рисунок 6** – Зависимость плотности и прочности пенбетонных смесей с применением водоредуцирующей добавки «Sika Mix Plus» от водоцементного отношения.

С использованием добавки «Форт УП-2» (рис.5.) в пределах В/Ц от 0,42...0,40 плотность и прочность существенно не изменилась, однако при дальнейшем снижении В/Ц до 0,38 плотность возрастает с 511 до 602 кг/м³, что служит причиной повышения прочности с 1,9 до 2,3 МПа в марочном возрасте.

Применение водоредуцирующей добавки «Sika Mix Plus» (рис. 6) в пределах В/Ц от 0,42–0,40 характеризуется одинаковыми показателями прочности – 2,5 МПа, однако плотность изменяется с 555 до 602 кг/м<sup>3</sup>. С уменьшением В/Ц до 0,38 плотность увеличивается до 719 кг/м<sup>3</sup>, что привело к повышению прочности до 4,1 МПа.

## ВЫВОДЫ

Регулирование технологических характеристик пенобетонных смесей позволит улучшить физико-механические показатели пенобетонных изделий, а приведенные экспериментальные данные позволят подобрать оптимальный состав неавтоклавного цементного пенобетона.

Наиболее эффективной для пенобетонов естественного твердения на белковом пенообразователе «Эталон», в плане водоредуцирования является добавка «Хемикс Art-2» в количестве 0,85 – 1,1 % от массы цемента. При В/Ц равном 0,42 текучесть пенобетонной смеси увеличена на 32 %, при В/Ц равном 0,4 – на 52 %, при В/Ц 0,38 – на 89 %.

Если сравнивать показатели текучести смесей с добавками «Форт УП-2» и «Sika Mix Plus» между собой, то вторая является более эффективной в количестве 0,05 – 1 % от массы цемента.

Стоит отметить, что неавтоклавные цементные пенобетоны продолжают набирать прочность и в послемарочном возрасте, поэтому возможны дополнительные исследования в этом направлении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горлов, Ю. П. Технология теплоизоляционных материалов и изделий [Текст] / Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, А. А. Устенко. – М. : Стройиздат, 1980. – 376 с.
2. Жабин, Д. В. Активированный электрогидротеплосиловым полем неавтоклавный пенобетон [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Жабин Дмитрий Владимирович. – Москва : [б. и.], 2014. – 233 с.
3. Кузнецова, Т. В. Физическая химия вяжущих материалов [Текст] / Т. В. Кузнецова, И. В. Кудряшов, В. В. Тимашев. – М. : Высшая школа, 1989. – 384 с.
4. Изотов, В. С. Химические добавки для модификации бетона [Текст] / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – М. : КГАСУ: Изд-во «Палеотип», 2006. – 244 с.
5. Совершенствование технологии пенобетона при учете температуры воды затворения [Текст] / В. Н. Моргун, А. Ю. Богатина, Л. В. Моргун, П. В. Смирнова, Я. С. Набокова // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии : материалы XV Академических чтений РААСН – МНТК (14-17 апреля 2010 г., г. Казань) / Федеральное агентство по образованию, Российская академия архитектуры и строительных наук [и др.] ; редкол. : Р. З. Рахимов (отв. ред.) и др. – Т. 1. – Казань : [Казанский гос. архитектурно-строит. ун-т], 2010. – С. 322–326.
6. Взаимосвязь структуры пены, технологии и свойств получаемого пенобетона [Текст] / Т. Е. Кобидзе, В. Ф. Коровяков, А. Ю. Киселев [и др.] // Строительные материалы. – 2005. – № 1. – С. 26–29.
7. Ефремов, А. Н. Технологические и эксплуатационные свойства газобетонов с низким водотвердым отношением [Текст] / А. Н. Ефремов, Д. Г. Малинин // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2018. – Вып. 2018-4(132) Научно-технические достижения студентов строительной архитектурной отрасли. Т. 2. Технологии строительных конструкций, изделий и материалов. – С. 194–198.
8. Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы [Текст] : учебно-справочное пособие / Л. И. Касторных, – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 21 с.
9. Кучуев, Е. В. Структура и свойства пенобетонов на основе минеральных вяжущих веществ и пенообразователей синтетической и биологической природы [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Кучуев Евгений Викторович. – Ростов н/Д : [б. и. ], 2015. – 154 с.
10. Шахова, Л. Д. Технология пенобетона: Теория и практика [Текст] : монография / Л. Д. Шахова. – Москва : Издательство АСВ, 2010. – 247 с.: ил., схем. табл.
11. Стешенко, А. Б. Модифицированный теплоизоляционный пенобетон с пониженной усадкой [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Стешенко Алексей Борисович. – Томск : [б. и.], 2015. – 189 с.

Получено 10.01.2019

О. М. ЄФРЕМОВ <sup>а</sup>, А. В. НАЗАРОВА <sup>б</sup>, Є. М. ВИШТОРСЬКИЙ <sup>с</sup>,  
Д. Г. МАЛИНИН <sup>а</sup>

ПІНОБЕТОННІ СУМІШІ ЗНИЖЕНОГО ВОДОВМІСТУ ІЗ  
ЗАСТОСУВАННЯМ ВОДОРЕДУКУЮЧИХ ДОБАВОК

<sup>а</sup> ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», <sup>б</sup> ІБА і ЖКГ ДОУ ВПО  
ЛНР «Луганський національний університет ім. В. Даля», <sup>с</sup> ДОУ ЛНР «Луганський національний  
аграрний університет»

**Анотація.** У даній статті розглянуті показники текучості пінобетонних сумішей на основі білкового піноутворювача «Еталон» з використанням водоредукуючих добавок різної хімічної дії: «Хемікс Art-2», «Форт УП-2» та «Sika Mix Plus». Надано порівняння текучості пінобетонних сумішей при рівних значеннях водоцементного відношення. Визначені залежності щільності та міцності пінобетонів із застосуванням водоредукуючих добавок різної хімічної природи від водоцементного відношення.

**Ключові слова:** ніздрюватий бетон, пінобетон, пінобетонні суміші, водоцементне відношення, водовміст, піноутворювач.

ALEXANDER YEFREMOV <sup>a</sup>, ANTONINA NAZAROVA <sup>b</sup>, EVGENY VISHTORSKIY <sup>c</sup>, DENIS MALININ <sup>a</sup>  
FOAM CONCRETE MIXTURES OF LOW WATER CONTENT WITH THE USE OF WATER-REDUCING ADDITIVES

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>b</sup> SEI HPE LPR «Vladimir Dalh Lugansk National University», <sup>c</sup> SEI LPR «Lugansk National Agrarian University»

**Abstract.** This article discusses the flow characteristics of foam concrete mixtures based on Etalon protein frother using water-reducing additives of various chemical actions: «Chemix Art-2», «Fort UP-2» and «Sika Mix Plus». A comparison of the fluidity of foam concrete mixtures with equal values of water-cement ratio is presented. The dependences of the density and strength of foam concrete using water-reducing additives of various chemical nature on water-cement ratio are determined.

**Key words:** cellular concrete, foam concrete, foam concrete mixtures, water-cement ratio, water content, foaming agent.

**Ефремов Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

**Назарова Антонина Васильевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры городского строительства и хозяйства института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В. Даля». Научные интересы: бетоны с использованием отходов промышленности.

**Вишторский Евгений Михайлович** – аспирант кафедры архитектуры и строительных конструкций ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: ячеистые бетоны, пенобетоны, отвечающие современным требованиям.

**Малинин Денис Геннадьевич** – аспирант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: неавтоклавные газобетоны.

**Єфремов Олександр Миколайович** – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: в'язучі та бетоны на основі промислових відходів; жаростійкі і вогнетривкі бетоны.

**Назарова Антоніна Василівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри міського будівництва та господарства інституту будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства ДОУ ВПО ЛНР «Луганський національний університет ім. В. Даля». Наукові інтереси: бетоны з використанням відходів промисловості.

**Вишторський Євген Михайлович** – аспірант кафедри архітектури і будівельних конструкцій, ДОУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: ніздрюваті бетоны, пінобетоны, що відповідають сучасним вимогам.

**Малинін Денис Геннадійович** – аспірант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: неавтоклавні газобетоны.

**Yefremov Alexander** – D. Sc. (Eng.), Professor, Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial waste, refractory concretes.

**Nazarova Antonina** – Ph. D. (Eng.), Assistant Professor, Senior Researcher, Department of Urban Construction and Economy, Institute of Construction, Architecture and Housing Communal Services, SEI HPE LPR «Vladimir Dalh Lugansk National University». Scientific interests: concretes with industrial wastes.

**Vishtorskiy Evgeny** – post-graduate student, Architecture and Building Constructions Department, SEI LPR «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: cellular concretes, foam concretes, meeting modern requirements.

**Malinin Denis** – post-graduate student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cellular concretes.