

УДК 666.97/98

© Ю. В. Пухаренко, д-р техн. наук, профессор  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
Санкт-Петербург, Россия;  
Научно-исследовательский институт  
строительной физики  
РААСН, Москва, Россия)  
© А. Ю. Ковалева, канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
Санкт-Петербург, Россия)  
E-mail: kovalevaau@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2025-22-2-87-94

© Yu. V. Pukharensko, Dr. Sci. Tech., Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia;  
Research Institute of Construction Physics of the Russian  
Academy of Architecture and Construction Sciences,  
Moscow, Russia)  
© A. Yu. Kovaleva, PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia)  
E-mail: kovalevaau@mail.ru

## **ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЗАГРУЗКИ КОМПОНЕНТОВ В БЕТНОСМЕСИТЕЛЬ НА СВОЙСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ И БЕТОНА**

### **INFLUENCE OF THE SEQUENCE OF LOADING COMPONENTS INTO A CONCRETE MIXER ON THE PROPERTIES OF CONCRETE MIX AND CONCRETE**

Постоянное повышение требований к железобетонным конструкциям зданий и сооружений, обеспечение их долговечности и эксплуатационной надежности требуют применения многокомпонентных бетонных смесей с обязательным использованием в составе добавок различной природы, функциональные возможности которых могут усиливаться путем модификации наноматериалами. Очевидно, получение высокотехнологичных бетонных смесей с ежесекундной повторяемостью заданных характеристик во многом зависит от принятой технологии. Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке свойств бетонных смесей и бетонов в зависимости от очередности подачи исходных компонентов в бетоносмеситель в процессе перемешивания. На основании полученных данных сделан вывод о необходимости тщательной разработки способов приготовления бетонных смесей, включая процесс загрузки компонентов в бетоносмеситель, что позволит повысить качество строительной продукции и снизить ее себестоимость.

*Ключевые слова:* бетон, бетонная смесь, компоненты, бетоносмеситель, последовательность загрузки, свойства.

The constant increase in requirements for reinforced concrete constructions of buildings and structures, ensuring their durability and operational reliability requires the use of multi-component concrete mixes with the mandatory use of additives of various nature, the functionality of which can be enhanced by modification with nanomaterials. Obviously, the production of high-tech concrete mixes with cyclic repeatability of specified characteristics largely depends on the technology adopted. The article presents the results of experimental studies on evaluating the properties of concrete mixtures and concretes, depending on the order in which the initial components are fed into the concrete mixer during mixing. Based on the data obtained, it is concluded that it is necessary to carefully develop methods for preparing concrete mixtures, including the process of loading components into a concrete mixer, which will improve the quality of construction products and reduce their cost.

*Keywords:* concrete, concrete mix, components, concrete mixer, loading sequence, properties.

#### **Введение**

Значительно возросшие в последние годы объемы строительства, высокие темпы возведения строительных объектов и разнообразии железобетонных конструкций зда-

ний и сооружений различного назначения требуют применения высокотехнологичных бетонных смесей, которые отличаются сложностью и многокомпонентностью состава с использованием (наряду с цементом и за-

полнителями армирующих волокон) высокодисперсных порошков, суперпластификаторов и других добавок различной природы. Современную практику производства бетонных смесей невозможно рассматривать без применения эффективных продуктов строительной химии, позволяющих в значительной степени управлять их структурой и свойствами, что отмечено в работах [1, 2]. При этом использование наномодификаторов усиливает функциональное действие добавок и, как показывает опыт последних лет, в еще большей степени улучшает показатели качества бетонных смесей [3, 4], повышает прочность и долговечность цементных композитов [5–7]. В настоящее время диапазон применяемых для этой цели наноматериалов расширяется, и наряду с широко известными углеродными наночастицами определенную известность получает диспергированная до наноразмерного уровня целлюлоза, потенциал которой с учетом ее доступности и возобновляемости открывает новые возможности для разработки и устойчивого развития инновационных технологий производства высококачественных материалов [8].

В этих условиях немаловажное значение приобретает технология приготовления смесей, совершенствование которой является залогом стабильной работы предприятий, одновременно обеспечивает повышение прочности бетонов и улучшение других показателей качества, от которых зависит долговечность и эксплуатационная безопасность железобетонных конструкций.

При производстве бетонных смесей на промышленных бетоносмесительных установках их качество зависит от множества факторов, среди которых можно отметить условия складирования и хранения сырьевых материалов, изменчивость их свойств, возможность обогащения (например фракционирование, как это отмечено в работе [9]), применяемое оборудование, режим перемешивания [10] и др. Одним из техноло-

гических переделов при производстве бетонных смесей является процесс загрузки бетоносмесителя, на который при работе с традиционными смесями, состоящими из цемента, заполнителей и воды, мало обращают внимания, и при подаче компонентов чаще всего применяется схема по умолчанию, при которой сначала загружают заполнители, затем одновременно цемент и воду (иногда с химическими добавками) и осуществляют перемешивание до достижения однородности. Повышение требований к составу и технологичности бетонных смесей значительно изменило представление о процессах их изготовления, в частности последовательности загрузки сырьевых компонентов в бетоносмеситель. В работе [11] представлено влияние двухступенчатого перемешивания бетонных смесей, изготавливаемых с применением в качестве заполнителя бетонного лома, на формирование структуры и повышение прочности бетонного композита. Механическое оборудование и автоматизация процессов производства бетонных смесей на современном уровне дают возможность в программных комплексах изменять последовательность загрузки компонентов в бетоносмеситель, что позволяет на технологическом уровне управлять структурой бетонных смесей и бетонов. Следовательно, вопрос влияния последовательности загрузки компонентов в бетоносмеситель на качество бетонных смесей и бетонов представляется весьма актуальным и является целью данного исследования.

### Методы

Согласно п. 5.3.6 действующего стандарта<sup>1</sup> последовательность загрузки компонентов в бетоносмеситель должна быть определена в технологическом регламенте. Следовательно, назначение данного порядка возможно только экспериментально при работе с установленным на предприятии технологическим

<sup>1</sup> ГОСТ 7473–2010. Смеси бетонные. Технические условия. Введен 01.01.2012. М.: Стандартинформ, 2011.

оборудованием, его возможностями, а также в зависимости от вида применяемого сырья и вида изготавливаемой бетонной смеси. Для оценки влияния последовательности загрузки сырьевых компонентов в бетоносмеситель на предприятии по производству бетонных смесей для монолитного строительства проводились сравнительные испытания традиционных бетонных смесей марки БСТ В25 П4 (ОК 16–20 см) F<sub>1</sub>150W6, изготовленных из одних и тех же материалов, на одной технологической линии, но с изменением последовательности загрузки сырьевых компонентов в бетоносмеситель. Состав бетонной смеси и варианты загрузки компонентов в бетоносмеситель приведены в табл. 1.

Аналогичным образом был установлен порядок загрузки сырьевых компонентов при производстве высокотехнологичной бетонной смеси марки БСТ В45 П5 (ОК 21–25 см) F<sub>1</sub>300W12 (табл. 2).

Бетонные смеси отличались видом применяемого цемента, качеством используемых заполнителей и химическими добавками. Для традиционной бетонной смеси применялась добавка на основе смеси эфиров поликарбоксилатов и лигносульфонатов; цемент Пикалевского цементного завода класса ЦЕМ II/A-III 32,5Б; карьерный песок с модулем крупности Мк = 2,2, содержащий пылевидные частицы в количестве 2,5 %, и щебень гранитный фракции 5–20 мм. Для высокотехнологичной бетонной смеси в качестве модификатора использовали добавку на основе эфира поликарбоксилата, модифицированного наноматериалом в виде углеродных фуллероидных наночастиц; цемент Сланцевского цементного завода класса ЦЕМ I 42,5Б; морской песок с модулем крупности Мк = 2,1, содержащий пылевидные частицы в количестве 0,5 %; гранитный щебень фракций 5–10 и 10–20 мм.

Изготовление бетонных смесей производилось в промышленной мобильной бетоносмесительной установке, оснащенной бетоносмесителем принудительного действия с горизонтально расположенными валами объемом 2,25 м<sup>3</sup> по загрузке. При изменении последовательности загрузки компонентов в течение анализируемого периода, обозначенного в стандарте<sup>2</sup>, из изготавливаемых бетонных смесей производился отбор проб для оценки основных свойств бетонных смесей<sup>3</sup> и изготовления образцов бетона для определения его прочности и однородности.

Исследования проводились в соответствии с требованиями стандарта<sup>2</sup> и стандарта<sup>3</sup>. Результаты исследований приведены в таблице 1.

### Результаты

Для характеристики удобоукладываемости бетонных смесей производилось определение их подвижности по осадке конуса

<sup>2</sup> ГОСТ 18105–2018. Бетоны. Правила контроля прочности. Введен 01.01.2020. М.: Стандартинформ, 2019.

<sup>3</sup> ГОСТ 10181–2014. Смесей бетонные. Методы испытаний. Введен 01.07.2015. М.: Стандартинформ, 2014.

Таблица 1

Состав и порядок приготовления традиционной бетонной смеси

Состав исследуемой бетонной смеси БСТ В25 П4 (ОК 16–20 см) F <sub>1</sub> 150W6		Последовательность загрузки компонентов в бетоносмеситель при перемешивании	
		Вариант 1	Вариант 2
Компонент бетонной смеси	Расход, кг	1. Загрузка крупного заполнителя	1. Загрузка крупного заполнителя
ЦЕМ II/A-III 32,5Б	340	2. Загрузка мелкого заполнителя	2. Загрузка мелкого заполнителя
Песок Мк = 2,2	830	3. Загрузка цемента, воды, добавок	3. Загрузка воды и химических добавок
Щебень фракции 5–20	1010	4. Перемешивание бетонной смеси до полной однородности	4. Перемешивание 15 секунд
Вода	187		5. Загрузка цемента
Добавка-суперпластификатор (смесь поликарбоксилата и лигносульфоната)	1,7		6. Перемешивание бетонной смеси до полной однородности

Таблица 2

**Состав и порядок приготовления высокотехнологичной бетонной смеси**

Состав исследуемой бетонной смеси БСТ В45 П5 (ОК 21–25 см) F <sub>1</sub> 300W12		Последовательность загрузки компонентов в бетоносмеситель при перемешивании	
		Вариант 1	Вариант 2
Компонент бетонной смеси	Расход, кг	1. Загрузка крупного заполнителя	1. Загрузка крупного заполнителя
ЦЕМ I 42,5Б	415	2. Загрузка мелкого заполнителя	2. Загрузка мелкого заполнителя
Песок Мк = 2,1	817	3. Загрузка цемента, воды, добавок	3. Загрузка 80 % воды от расчетного количества и добавки
Щебень фракции 5–10	328	4. Перемешивание бетонной смеси до полной однородности	4. Перемешивание 10 секунд
Щебень фракции 10–20	676		5. Загрузка цемента
Вода	149		6. Перемешивание 10 секунд
Добавка-суперпластификатор (поликарбоксилат наномодифицированный)	1,9		7. Загрузка оставшейся воды
			8. Перемешивание бетонной смеси до полной однородности

в соответствии со стандартной методикой. Значения подвижности бетонной смеси были определены в рамках проведения отпускного контроля на предприятии-изготовителе бетонной смеси в течение анализируемого периода. Изменение подвижности бетонной смеси марки БСТ В25 П4 (ОК 16–20 см) F<sub>1</sub>150W6 при проведении контроля в различные дни в зависимости от

принятой в табл. 1 последовательности загрузки компонентов, представлено на рис. 1.

Изменение прочности и однородности бетона по прочности в течение анализируемого периода оценивалось результатами испытания образцов-кубов размером 10×10×10 см, изготовленных из бетонной смеси производственного замеса. Результаты испытаний приведены на рис. 2.

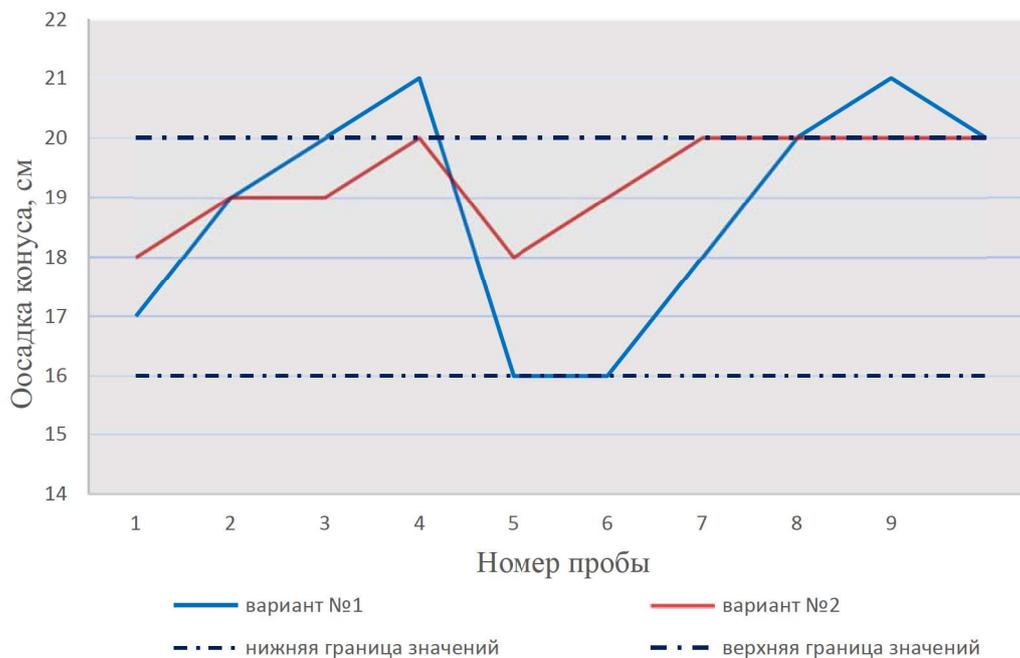


Рис. 1. Изменение подвижности бетонной смеси марки БСТ В25 П4 (ОК 16–20 см) F<sub>1</sub>150W6 в зависимости от последовательности загрузки компонентов в бетоносмеситель

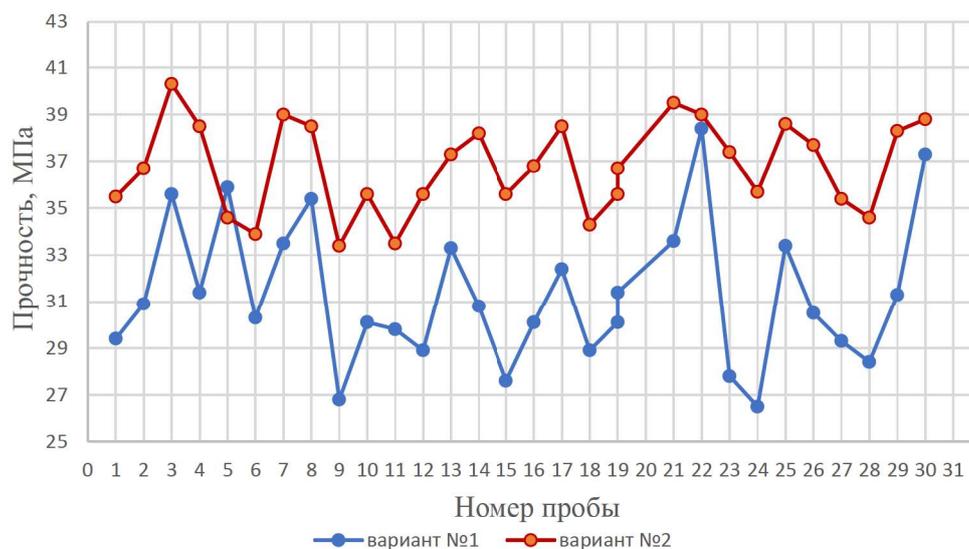


Рис. 2. Изменение показателей прочности бетона в зависимости от последовательности загрузки компонентов в бетоносмеситель

Анализ полученных данных позволяет выделить следующие закономерности:

- при изготовлении по варианту 2 разброс в показателях подвижности бетонной смеси становится значительно меньшим по сравнению с вариантом 1, что свидетельствует о повышении ее однородности (см. рис. 1);
- при изменении последовательности загрузки с варианта 1 на вариант 2 наблюдается повышение прочности бетона в среднем за анализируемый период на 5 МПа, а также уменьшение коэффициента ее вариации с 9,7 до 5,7 % (см. рис. 2), что говорит о повышении однородности структуры бетонного композита. Очевидно, повышение прочности и однородности бетона связано именно с последовательностью загрузки компонентов в смеситель по варианту 2, способствующему очищению поверхности зерен заполнителя от пылевидных частиц и улучшению их сцепления с цементным камнем.

Для бетонной смеси марки БСТ В45 П5 (ОК 21–25 см) F<sub>300</sub>W12 были проведены аналогичные испытания по оценке изменения подвижности бетонной смеси и прочности бетона в зависимости от последовательности загрузки компонентов в процессе

перемешивания, результаты которых приведены на рис. 3 и 4.

Анализ приведенных данных позволяет отметить ту же закономерность, что и в предыдущем случае: изменение последовательности загрузки смесителя компонентами с варианта 1 на вариант 2 приводит к стабилизации и снижению вариативности показателей подвижности бетонной смеси, повышению прочности в среднем за анализируемый период на 4 МПа и снижению коэффициента ее вариации с 7,7 до 3,8 %. Кроме того, в этом случае следует отметить значительное увеличение подвижности бетонной смеси (см. рис. 3), что связано с равномерным распределением наномодифицированной добавки по поверхности зерен заполнителя, что свидетельствует о повышении технологичности смеси. Росту прочности композита способствует активизация процессов гидратации цемента в зоне контакта с заполнителем в присутствии фуллероидных наночастиц, что приводит к увеличению прочности сцепления на границе раздела фаз цементный камень–заполнитель. Аналогичным образом повышение прочности сцепления заполнителей с цементным камнем в случае

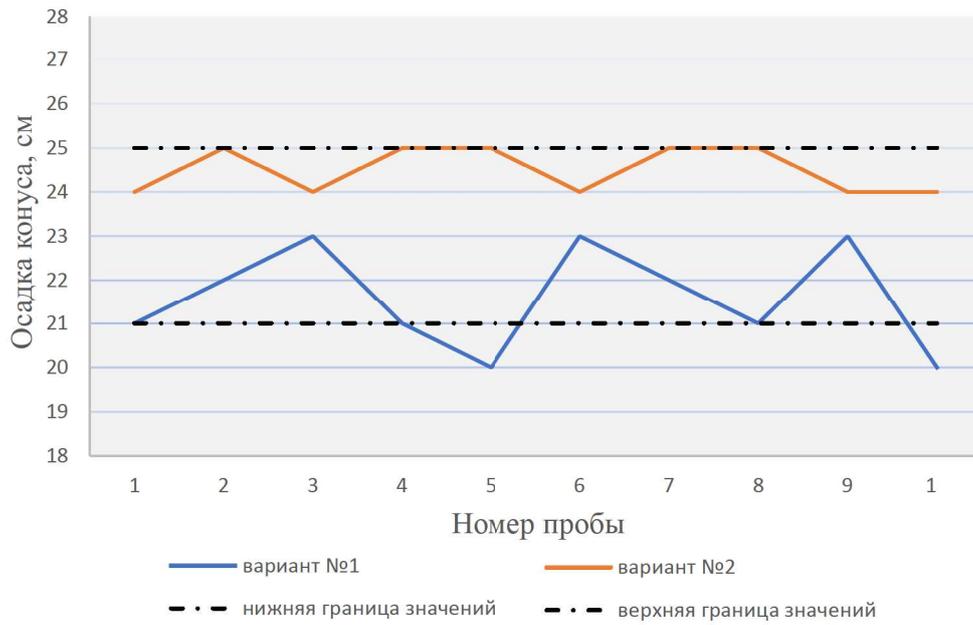


Рис. 3. Изменение подвижности бетонной смеси марки БСТ В45 П5 (ОК 21–25 см) F<sub>300</sub>W12 в зависимости от последовательности загрузки компонентов в бетономеситель

применения гранулированного наноструктурированного заполнителя отмечено в работе [12]. Таким образом, порядок загрузки компонентов существенным образом влияет на однородность бетонной смеси и, соответственно, на прочность и однородность бетона, что в свою очередь способствует сниже-

нию себестоимости продукции и повышению ее конкурентоспособности.

#### Выводы

Результаты проведенного исследования указывают на необходимость тщательной разработки процесса приготовления бетонных смесей, включая последовательность

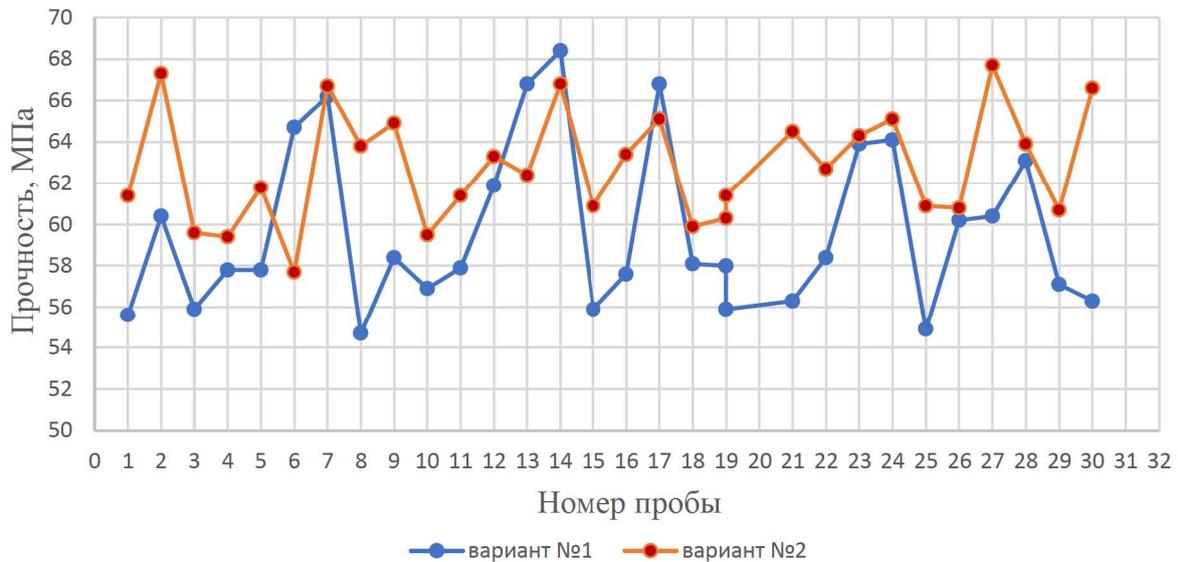


Рис. 4. Изменение прочности и однородности бетона в зависимости от последовательности загрузки компонентов в бетономеситель

загрузки исходных компонентов в смеситель. В этой связи необходимо отметить следующее:

- современные бетонные смеси характеризуются сложностью и многокомпонентностью составов в соответствии с требованиями к изделиям и конструкциям зданий и сооружений;

- последовательность загрузки компонентов в смеситель, предусмотренная программным обеспечением производителей технологического оборудования, не является универсальной, и ее необходимо устанавливать экспериментально для конкретных видов бетонных смесей и четко прописывать в технологическом регламенте;

- оптимизация процесса загрузки смесителя в процессе приготовления приводит к стабилизации бетонной смеси, повышению прочности и однородности бетона и, как следствие, к улучшению качества и снижению себестоимости выпускаемой продукции.

#### Библиографический список

1. Фаликман В. Р. Поликарбоксилатные гиперпластификаторы: вчера, сегодня, завтра // Популярное бетоноведение. 2009. № 2 (28). С. 86–90.
2. Мухаметрахимов Р. Х. Исследование пластифицирующих добавок на основе эфиров поликарбоксилатов на свойства бетонов, формируемых методом 3D-печати // Строительные материалы и изделия. 2022. Т. 5, № 5. С. 42–58. DOI 10.58224/2618-7183-2022-5-5-42-58.
3. Свинцов А. П., Аббас А. А. Н., Абдель-Сатер А., Сорокин А. Н. Влияние наномодифицированной добавки на подвижность бетонных смесей // Строительные материалы. 2020. № 7. С. 54–59. DOI 10.31659/0585-430X-2020-782-7-54-59.
4. Огурцова О. М., Красиникова Н. М., Морозова Н. Н., Хозин В. Г. Исследование влияния наномодифицированного пластификатора на свойства бетонной смеси и бетона на его основе // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. Пенза: ПГУАС, 2020. С. 84–88.
5. Chernishov E. M., Artamonova O. V., Slavcheva G. S. Nanomodifications of cement-based composites

in the technological life cycle // Nanotechnologies in construction. 2020. Vol. 12 (3). Pp. 130–139.

6. Пухаренко Ю. В., Староверов В. Д., Рыжов Д. И. Наномодифицированные добавки в бетоны для транспортного строительства // Транспорт Российской Федерации. 2014. № 5 (54). С. 26–30.

7. Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Староверов В. Д. Влияние углеродных наноматериалов на структуру и свойства цементных бетонов // Бетон и железобетон — взгляд в будущее: науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. В 7 т. М.: НИУ МГСУ, 2014. Т. 6. С. 205–212.

8. Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Хирхасова В. И. Целлюлоза в бетоне: новое направление развития строительной нанотехнологии // Строительные материалы. 2020. № 7. С. 39–44. DOI 10.31659/0585-430X-2020-782-7-39-44.

9. Ковалева А. Ю., Аубакирова И. У. Влияние качества крупного заполнителя на однородность свойств бетонной смеси и бетона // Жилищное строительство. 2024. № 1–2. С. 109–113. DOI 10.31659/0044-4472-2024-1-2-109-113.

10. Ковалева А. Ю. Влияние времени перемешивания на однородность свойств бетонных смесей и бетона // Вестник гражданских инженеров. 2024. № 5 (106). С. 66–75. DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-5-66-75.

11. Дмитриев Н. С., Наруть В. В., Ларсен О. А. Повышение эффективности бетонов с использованием крупного заполнителя из дроблёного бетона // Молодёжные инновации: сб. материалов семинара молодых ученых XXII Междунар. науч. конф. Ташкент, 18–21 апреля 2019 г. М.: НИУ МГСУ, 2019. С. 128–132.

12. Строчкова В. В., Жерновский И. В., Максиков А. В., Огурцова Ю. Н., Соловьева Л. Н. Последовательность процессов формирования цементно-песчаной матрицы бетона при использовании гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 110.

#### References

1. Falikman V. R. *Polikarboksilatnye giperplastifikatory: vchera, segodnya, zavtra* [Polycarboxylate hyperplasticizers: yesterday, today, tomorrow]. *Popular Concrete Science*, 2009, no. 2 (28), pp. 86–90.
2. Mukhametrakhimov R. Kh. *Issledovanie plastifitsiruyushchikh dobavok na osnove efirov polikarboksilatov na svoystva betonov, formuemyykh metodom 3D-pechaty* [Investigation of plasticizing additives on the basis of polycarboxylate esters on the properties of concrete molded by 3D-printing]. *Stroitel'nye*

*materialy i izdeliya – Building Materials and Products*, 2022, vol. 5, no. 5, pp. 42–58. DOI 10.58224/2618-7183-2022-5-5- 42-58.

3. Svintsov A. P., Abbas A. A. N., Abdel-Sater A., Sorokin A. N. *Vliyanie nanomodifitsirovannoy dobavki na podvizhnost' betonnykh smesey* [Effect of nanomodified additive on the mobility of concrete mixtures]. *Stroitel'nye materialy – Building Materials*, 2020, no. 7, pp. 54–59. DOI 10.31659/0585-430X-2020-782-7-54-59.

4. Ogurtsova O. M., Krasinikova N. M., Morozova N. N., Khozin V. G. *Issledovanie vliyaniya nanomodifitsirovannogo plastifikatora na svoystva betonnoy smesi i betona na ego osnove* [Investigation of the influence of nanomodified plasticizer on the properties of concrete mixture and concrete on its basis]. *Teoriya i praktika povysheniya effektivnosti stroitel'nykh materialov. Trudy XV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh* [Theory and practice of increasing the efficiency of construction materials. Proceedings of the XV Int. scientific-technical conf. of young scientists]. Penza, PGUAS Publ., 2020, pp. 84–88.

5. Chernishov E. M., Artamonova O. V., Slavcheva G. S. *Nanomodifications of cement-based composites in the technological life cycle. Nanotechnologies in construction*, 2020, vol. 12 (3), pp. 130–139.

6. Pukhareno Yu. V., Staroverov V. D., Ryzhov D. I. *Nanomodifitsirovannye dobavki v betony dlya transportnogo stroitel'stva* [Nanomodified additives in concrete for transport construction]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2014, no. 5 (54), pp. 26–30.

7. Pukhareno Yu. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D. *Vliyanie uglerodnykh nanomaterialov na strukturu i svoystva tsementnykh betonov* [Influence of carbon nanomaterials on the structure and properties of cement concrete]. *Beton i zhelezobeton — vzglyad v budushchee. Trudy III Vseros. (II Mezhdunar.) konf. po betonu i zhelezobetonu* [Concrete and reinforced concrete — a look into the future. Proceedings of the III All-Russian (II Intern.) Conf. on concrete and reinforced

concrete]. In 7 vols. Moscow, NIU MGSU Publ., 2014, vol. 6, pp. 205–212.

8. Pukhareno Yu. V., Aubakirova I. U., Khirkhasova V. I. *Tsellyuloza v betone: novoe napravlenie razvitiya stroitel'noy nanotekhnologii* [Cellulose in concrete: a new direction of development of construction nanotechnology]. *Stroitel'nye materialy – Building Materials*, 2020, no. 7, pp. 39–44. DOI 10.31659/0585-430X-2020-782-7-39-44.

9. Kovaleva A. Yu., Aubakirova I. U. *Vliyanie kachestva krupnogo zapolnitelya na odnorodnost' svoystv betonnoy smesi i betona* [Influence of the quality of coarse aggregate on the homogeneity of concrete mixture and concrete properties]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2024, no. 1–2, pp. 109–113. DOI 10.31659/0044-4472-2024-1-2-109-113.

10. Kovaleva A. Yu. *Vliyanie vremeni peremeshivaniya na odnorodnost' svoystv betonnykh smesey i betona* [Influence of mixing time on homogeneity of properties of concrete mixtures and concrete]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2024, no. 5 (106), pp. 66–75. DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-5-66-75.

11. Dmitriev N. S., Narut' V. V., Larsen O. A. *Povysheniye effektivnosti betonov s ispol'zovaniem krupnogo zapolnitelya iz droblyonogo betona* [Increasing the efficiency of concrete using coarse aggregate from crushed concrete]. *Molodyozhnye innovatsii. Trudy seminarov molodykh uchenykh XXII Mezhdunar. nauch. konf. (Tashkent, 18–21 aprelya 2019 g.)* [Youth Innovations. Proceedings of the seminar of young scientists of the XXII Int. scientific conf. Tashkent, April 18–21, 2019]. Moscow, NIU MGSU Publ., 2019, pp. 128–132.

12. Strokova V. V., et al. *Posledovatel'nost' protsessov formirovaniya tsementno-peschanoy matritsy betona pri ispol'zovanii granulirovannogo nanostrukturiruyushchego zapolnitelya* [Sequence of processes of formation of concrete cement-sand matrix when using granular nanostructuring aggregate]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2012, no. 6, 110 p.