

УДК 691.322

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73)

EDN: EZDYZM

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМИРУЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЦИКЛИНГОВОГО ЩЕБНЯ ИЗ БОЯ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

З.У. БЕППАЕВ✉, канд. техн. наук

Л.Х. АСТВАЦАТУРОВА

С.А. КОЛОДЯЖНЫЙ

С.А. ВЕРНИГОРА

В.В. ЛОПАТИНСКИЙ

*Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ)  
им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация*

## Аннотация

*Введение.* Предприятия стройиндустрии способны оказывать негативное воздействие на окружающую среду как при добыче природного сырья, так и в процессе реконструкции, капитального ремонта и сноса строительных объектов. Технология производства строительных материалов и непосредственно строительство и эксплуатация различных зданий и сооружений является весьма материалоемким и энергоемким процессом с образованием различных отходов, которые необходимо утилизировать. В развитых странах мира наиболее предпочтительным путем утилизации бетонных и железобетонных, а также каменных (кирпичных) отходов является их рециклинг, т. е. процесс переработки и возвращения отходов в повторный оборот в качестве кондиционного товара. В связи с этим проблема утилизации строительных отходов (в т. ч. отходов из силикатного кирпича и кирпичной кладки на его основе) приобретает большую актуальность.

*Целью* работы было определение зернового состава, прочности и насыпной плотности рециклингового щебня из боя силикатного кирпича (без раствора) и из боя кирпичной кладки на основе силикатного кирпича (с раствором) с сопоставлением полученных значений и выявлением перспектив их применения в качестве заполнителей для производства бетонов общестроительного назначения.

*Материалы и методы.* Для проведения исследований применялся рециклинговый щебень из боя силикатного кирпича (без раствора) и из боя кладки с силикатным кирпичом (вместе с раствором). Испытания рециклингового щебня проводили по ГОСТ 8269.0-97, оценку характеристик щебня – по ГОСТ 8267-93.

*Результаты.* В результате проведенных работ показана сопоставимость показателей насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором) и щебня, полученного дроблением силикатного кирпича (без раствора).

*Выводы.* По результатам проведенной работы выявлено, что рециклинговый щебень, полученный дроблением фрагментов кирпичной кладки из силикатного кирпича (с раствором), и рециклинговый щебень, полученный дроблением силикатного кирпича (без раствора), пригодны (наравне с щебнем из осадочных и метаморфических пород) для применения в качестве крупного заполнителя при производстве бетонов общестроительного назначения. Показана необходимость проведения комплекса экспериментальных работ для разработки нового ГОСТ, что позволит усовершенствовать процессы утилизации силикатного

кирпича, конструкций и изделий на его основе с завершённым сроком эксплуатации для получения качественного, готового к применению строительного материала.

**Ключевые слова:** утилизация строительных материалов, кладка из силикатного кирпича, рециклинг, щебень из боя силикатного кирпича, безотходность технологического процесса, вторичное использование материалов

**Для цитирования:** Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В. Определение нормируемых характеристик рециклингового щебня из боя силикатного кирпича и перспективы его применения. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;33(2):63–73. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73)

#### **Вклад авторов**

Беппаев З.У. – руководство работой, подготовка отчета.

Аствацатурова Л.Х. – подготовка и оформление отчета.

Колодяжный С.А. – выполнение экспериментальной части, подготовка отчета.

Вернигора С.А. – выполнение экспериментальной части.

Лопатинский В.В. – выполнение экспериментальной части.

#### **Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 21.04.2022*

*Поступила после рецензирования 19.05.2022*

*Принята к публикации 24.05.2022*

# **DETERMINATION OF STANDARD CHARACTERISTICS OF RECYCLED CRUSHED AGGREGATE FROM CRUSHED SAND-LIME BRICK AND PROSPECTS OF ITS APPLICATION**

Z.U. BEPPAEV✉, Cand. Sci. (Engineering)

L.H. ASTVATSATUROVA

S.A. KOLODYAZHNY

S.A. VERNIGORA

V.V. LOPATINSKY

*Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NII ZHB) named after A.A. Gvozdev,  
JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation*

#### **Abstract**

*Introduction.* Construction enterprises can adversely affect the environment during the extraction of natural raw materials, as well as during the reconstruction, overhaul, and demolition of buildings. The manufacturing of construction materials, the actual erection, and maintenance of various buildings and structures comprise highly material- and energy-intensive processes characterized by waste generation, which need to be disposed.

In developed countries, recycling wastes as a commercial commodity represents the preferable way of recovering concrete, reinforced concrete, and masonry (brick) waste. In this regard, the disposal of construction waste (including waste from sand-lime brick and brickwork) is becoming increasingly important.

*Aim.* In this work, the grain-size distribution, strength, and bulk density of recycled crushed aggregate from crushed sand-lime bricks (open stone mix) and brickwork (containing mortar) were determined and compared, and the prospects of its use as aggregates in the production of general-purpose concrete were identified.

*Materials and methods.* Recycled crushed aggregate from crushed sand-lime bricks (open stone mix) and brickwork (containing mortar) was used for the studies. The recycled crushed aggregate was tested as per GOST 8269.0-97, its characteristics were evaluated as per GOST 8267-93.

*Results.* This work shows the correlation between the bulk density, grain-size distribution, and crushing capacity of recycled crushed aggregate produced by crushing fragments of brickwork (containing mortar) and sand-lime bricks (open stone mix).

*Conclusions.* It is shown that recycled crushed aggregate obtained by crushing fragments of brickwork (containing mortar) and sand-lime bricks (open stone mix) are suitable (along with crushed stone from sedimentary and metamorphic rocks) for use as a coarse aggregate in the production of general-purpose concrete. It is shown that it is necessary to carry out comprehensive experimental work in order to develop a new GOST, which will improve the recycling of sand-lime bricks, as well as structures and products based on them following the end of their operation lifetime, and allow high-quality ready-to-use construction material to be obtained.

**Keywords:** recycling of construction materials, sand-lime brickwork, recycling, crushed aggregate from crushed sand-lime brick, zero-waste process, material recycling

**For citation:** Beppaev Z.U., Astvatsaturova L.H., Kolodyazhny S.A., Vernigora S.A., Lopatinsky V.V. Determination of standard characteristics of recycled crushed aggregate from crushed sand-lime brick and prospects of its application. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):63–73. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73)

#### **Author contribution statements**

Beppaev Z.U. – work supervision, report preparation.

Astvatsaturova L.H. – report preparation.

Kolodyazhny S.A. – experimental work, report preparation.

Vernigora S.A. – experimental work.

Lopatinsky V.V. – experimental work.

*Received 21.04.2022*

*Revised 19.05.2022*

*Accepted 24.05.2022*

## **Введение**

Предприятия стройиндустрии, как и любые промышленные объекты, способны оказывать негативное воздействие на окружающую среду как при добыче природного сырья, так и в процессе реконструкции, капитального ремонта и сноса строительных объектов. Технология производства строительных материалов, строительство и эксплуатация различных зданий и сооружений является весьма материал- и энергоемким процессом с образованием различных отходов, которые необходимо утилизировать.

Проблема утилизации строительных отходов остро стоит во всех цивилизованных странах мира. По данным международной организации RILEM, в странах ЕС, США и Японии ежегодный объем только бетонного и кирпичного лома составляет более 360 млн т. В США

значительная часть таких отходов (около 20 млн т) ежегодно перерабатывается в щебень, используемый в строительстве.

Начиная с 1970-х гг. во многих странах ведутся широкомасштабные исследования в области переработки бетонных и железобетонных, а также каменных (кирпичных) отходов, изучение технико-экономических, социальных и экологических аспектов использования получаемых из них вторичных продуктов. По сведениям из иностранных источников [1, 2], энергозатраты при добыче природного щебня в 8 раз выше, чем получение щебня из бетона и кирпичей, а себестоимость бетона при использовании вторичного щебня снижается на 25 %.

Таким образом, в развитых странах мира наиболее предпочтительным путем утилизации бетонных и железобетонных, а также каменных (кирпичных) отходов является их рециклинг, т. е. процесс переработки и возвращения отходов в повторный оборот в качестве кондиционного товара.

В бывшем СССР внимание к этому вопросу было привлечено в конце XX века. Тогда считалось, что утилизация имеющихся отходов позволила бы вовлечь в хозяйственный оборот около 40 млн т бетонного и кирпичного лома, однако эти цели (в основном в связи с распадом СССР) реализованы не были.

По данным различных источников, на территории Российской Федерации построено около 260 млн м<sup>2</sup> жилого фонда в виде 5-этажных многоквартирных домов. Стены и перегородки значительной части этих домов выполнены из кладки с применением силикатного кирпича. Эти дома физически и морально устарели и подлежат сносу. Основным экономическим фактором от сноса пятиэтажных жилых домов является высвобождение городских территорий под новое современное строительство. Другим важным резервом улучшения экологии, а также экономии материальных и энергетических ресурсов в строительстве является переработка кирпичного лома и использование его в качестве заполнителей для бетонов общестроительного назначения. Для Российской Федерации использование вторичных ресурсов и внедрение системы рециклинга в производственный процесс является весьма перспективным направлением. В настоящее время переработка вторичных ресурсов не выделена в обособленный объект государственного регулирования: Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года «Об отходах производства и потребления» с изменениями, внесенными Федеральным законом от 28 июля 2012 г. № 128-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» [3], не рассматривает отходы как вторичные материальные ресурсы. В то же время в Распоряжении Правительства Российской Федерации № 868-р от 10 мая 2016 г. «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» [4] отмечается низкий уровень вовлечения отходов производства и потребления в новое производство (п. 8, стр. 19).

Использование вторичных ресурсов, а также масштабное освоение и внедрение системы рециклинга в производственный процесс Российской Федерации отвечает основным положениям Указа Президента Российской Федерации «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г.». № 176 от 19 апреля 2017 г. [5].

Приоритетными направлениями в этом документе, в частности, являются:

- развитие системы эффективного обращения с отходами производства и потребления, создание индустрии утилизации, в том числе повторного применения таких отходов;
- стимулирование внедрения наилучших доступных технологий, создание удовлетворяющих современным экологическим требованиям и стандартам объектов, используемых

для размещения, утилизации, переработки и обезвреживания отходов производства и потребления, а также увеличение объема повторного применения отходов производства и потребления за счет субсидирования и предоставления налоговых и тарифных льгот, других форм поддержки.

В настоящее время только в Москве ежегодно образуется 1500 тыс. т строительных отходов, в т. ч. в виде боя из силикатного кирпича. Только 70–80 тыс. т из них перерабатывается, остальное вывозится на полигоны, либо скапливается на десятках несанкционированных свалок. Этот сектор рынка все еще находится в стадии становления. Целесообразность переработки боя силикатного кирпича от сносимых зданий и получения вторичного щебня экономически оправдано. Наибольшим спросом пользуются фракции щебня 10–20 и 20–40 мм, которые в настоящее время используются для отсыпки, благоустройства территорий, а также для производства низкомарочных бетонов.

Рециклинговый щебень из боя силикатного кирпича представляет собой материал (продукт), получаемый дроблением некондиционного силикатного кирпича, силикатных камней, фрагментов кирпичной кладки на их основе, а также конструкций и изделий из мелкозернистого силикатного бетона. Рециклинговый щебень, получаемый из некондиционного силикатного кирпича и силикатных камней, состоит из зерен кирпичного боя различных фракций. Рециклинговый щебень, получаемый дроблением фрагментов кирпичной кладки на основе силикатного кирпича, силикатных камней, а также конструкций и изделий из мелкозернистого силикатного бетона, состоит преимущественно из зерен кирпичного боя, зерен раствора, а также агрегированных в единый конгломерат зерен кирпичного боя и раствора различных фракций. Рециклинговый щебень из боя силикатного кирпича представляет собой ценный ресурс для производства бетонных, а также железобетонных конструкций и изделий. Его использование для замены природных и традиционных искусственных заполнителей в бетоне может принести значительные экономические, энергетические и экологические преимущества. Повторное использование вторичного рециклингового кирпичного щебня во многих случаях весьма целесообразно и отвечает принципам концепции «устойчивого развития» («sustainable development»), основные положения которой предусматривают экономию материалов и энергии, а также уменьшение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе сохранение невозполнимых источников природных ресурсов.

Если бетоны на основе рециклингового щебня из боя керамического кирпича в Российской Федерации применялись при строительстве различных зданий и сооружений с конца XIX до 60-х гг. XX века, то бетоны на основе рециклингового щебня из боя силикатного кирпича практически не производились. Действующие нормативные документы, регламентирующие требования к щебню из боя силикатного кирпича, на сегодняшний день в Российской Федерации практически отсутствуют.

## **Цель**

Целью работы было определение зернового состава, прочности и насыпной плотности рециклингового щебня из боя силикатного кирпича с выявлением перспектив его применения в качестве заполнителей для производства бетонов общестроительного назначения.

## Материалы и методы

Для определения насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости щебня из боя силикатного кирпича сотрудниками Лаборатории № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены комплексные экспериментальные исследования. Для проведения работ из стен реконструируемого здания (построенного в середине XX века) были отобраны фрагменты кирпичной кладки, затем дроблением этих фрагментов были получены пробы рециклингового щебня двух видов (типов):

- рециклинговый щебень непосредственно из кирпичной кладки с раствором;
- рециклинговый щебень из кирпича без наличия раствора.

Для изготовления рециклингового щебня использовали щековую дробилку марки ЩДС 180 × 250 производства ООО «Уральский Завод Котельного Оборудования». Размер выходной щели щековой дробилки составлял 20 мм. Общий вид щековой дробилки приведен на рис. 1.

Общие виды рециклингового щебня из боя силикатного кирпича приведены на рис. 2.

Осмотр проб показал, что рециклинговый щебень, полученный дроблением кирпичной кладки, состоит из зерен кирпича, зерен раствора, а также агрегированных в единый конгломерат зерен кирпича и раствора различных фракций. Рециклинговый щебень, полученный из кирпича без наличия раствора, состоит из зерен кирпича различных фракций. Инородные примеси в рециклинговом щебне отсутствовали.

Определение насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».



**Рис. 1.** Общий вид щековой дробилки ЩДС 180 × 250  
**Fig. 1.** General view of JCS 180 × 250 jaw crusher

Требования к насыпной плотности, зерновому составу и марке по дробимости рециклингового щебня определяли в соответствии с ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».



а

б

**Рис. 2.** Общие виды рециклингового щебня из боя силикатного кирпича:  
 а – рециклинговый щебень, полученный из кирпича (без раствора);  
 б – рециклинговый щебень, полученный из кирпичной кладки с раствором  
**Fig. 2.** General view of recycled crushed aggregate from crushed sand-lime brick:  
 а – recycled crushed aggregate from bricks (open stone mix);  
 б – recycled crushed aggregate from brickwork (containing mortar)

## Результаты

Результаты определения насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня приведены в табл. 1–6.

Таблица 1

**Результаты определения насыпной плотности рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)**

Table 1

**Bulk density of recycled crushed aggregate obtained by crushing brickwork fragments (containing mortar)**

№	Щебень фракций, мм	Объем пробы, м <sup>3</sup>	Масса цилиндра, кг	Масса пробы, кг	Насыпная плотность пробы, кг/м <sup>3</sup>	Среднее значение насыпной плотности щебня, кг/м <sup>3</sup>
1	5–20	0,005	1,965	5,800	1160	1149
2	5–20	0,005	1,965	5,690	1138	

Таблица 2

**Результаты определения насыпной плотности рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора**

Table 2

**Bulk density of recycled crushed aggregate obtained by crushing bricks (open stone mix)**

№	Щебень фракций, мм	Объем пробы, м <sup>3</sup>	Масса цилиндра, кг	Масса пробы, кг	Насыпная плотность пробы, кг/м <sup>3</sup>	Среднее значение насыпной плотности щебня, кг/м <sup>3</sup>
1	5–20	0,005	1,965	5,879	1176	1180
2	5–20	0,005	1,965	5,920	1184	

Таблица 3

**Результаты определения зернового состава рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)**

Table 3

**Grain-size distribution of recycled crushed aggregate obtained by crushing brickwork fragments (containing mortar)**

№	Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Остатки на ситах			Требования ГОСТ 8267-93, % по массе (полные остатки фр. 5–20)
		масса, т, г	% по массе		
			частные, а <sub>i</sub>	полные	
1	20	251	4,99	4,99	До 10
2	12,5	1502	29,88	34,87	30–60
3	10	576	11,46	46,33	–
4	7,5	522	10,38	56,71	–
5	5	432	8,59	65,30	90–100
6	2,5	457	9,09	74,39	95–100
7	Поддон	1287	25,6	100	–

Таблица 4

**Результаты определения зернового состава рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора**

Table 4

**Grain-size distribution of recycled crushed aggregate obtained by crushing bricks (open stone mix)**

№	Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Остатки на ситах			Требования ГОСТ 8267-93, % по массе (полные остатки фр. 5–20)
		масса, т, г	% по массе		
			частные, а <sub>i</sub>	полные	
1	20	173	3,45	3,45	До 10
2	12,5	1302	25,95	29,4	30–60
3	10	530	10,56	39,96	–
4	7,5	531	10,59	50,55	–
5	5	461	9,19	59,74	90–100
6	2,5	515	10,27	70,01	95–100
7	Поддон	1505	29,99	100	–

Таблица 5

**Результаты определения марки по дробимости (прочности) рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)**

Table 5

**Crushing capacity (strength) grade of recycled crushed aggregate obtained by crushing brickwork fragments (containing mortar)**

№	Размер фракции/ сита Ø, мм	Масса, г		Дробимость, Др, %	Ср. значения дробимости, Др <sub>ср</sub> , %	Дробимость смеси фракций, Др, %	Марка по дробимости
		пробы, m	остатка на сите, m <sub>1</sub>				
1	от 5 до 10 1,25	251	155	38,20	38,03	37,00	200
		251	156	37,85			
2	от 10 до 20 2,5	236	150	36,44	35,98		
		245	158	35,51			

Таблица 6

**Результаты определения марки по дробимости (прочности) рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора**

Table 6

**Crushing capacity (strength) grade of recycled crushed aggregate obtained by crushing bricks (open stone mix)**

№	Размер фракции/ сита Ø, мм	Масса, г		Дробимость, Др, %	Ср. значения дробимости, Др <sub>ср</sub> , %	Дробимость смеси фракций, Др, %	Марка по дробимости
		пробы, m	остатка на сите, m <sub>1</sub>				
1	от 5 до 10 1,25	237	143	39.66	39.28	37.70	200
		252	154	38.89			
2	от 10 до 20 2,5	241	153	36.51	36.11		
		252	162	35.71			

**Выводы**

1. Насыпная плотность рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), составляет 1138–1160 кг/м<sup>3</sup>. Насыпная плотность рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора, составляет 1176–1184 кг/м<sup>3</sup>. Наличие в составе рециклингового щебня раствора незначительно (на 2–3 %) уменьшает насыпную плотность щебня.

2. Рециклинговый щебень, полученный дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), по зерновому составу не удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267-93. Полные остатки на ситах Ø5 (65,30 %) и Ø2,5 (74,39 %) меньше минимальных нормируемых значений 90 и 95 %. Рециклинговый щебень, полученный дроблением кирпича без наличия раствора, не удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267-93. Полные остатки на ситах Ø5 (59,74 %) и Ø2,5 (70,01 %) меньше минимальных нормируемых значений 90 и 95 %. Наличие в составе рециклингового щебня раствора на 17 % уменьшает количество мелких (менее 2,5 мм) зерен.

3. Независимо от наличия растворной части в рециклинговом щебне из кирпичного боя основной фракцией щебня являются зерна с размерами от 12,5 до 10 мм, их доля составляет 29,4 и 34,87 %, а также мелкие (менее 2,5 мм) фракции, их доля составляет 25,6 и 29,99 %.

4. Марка по дробимости (прочность) рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), и рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора, составляет М200. При этом наличие в щебне растворной части практически не влияет на ее дробимость.

5. По показателям насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклинговый щебень, полученный дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), и рециклинговый щебень, полученный дроблением силикатного кирпича без наличия раствора, пригодны (наравне с щебнем из осадочных и метаморфических пород) для применения в качестве крупного заполнителя при производстве бетонов общестроительного назначения.

6. В настоящее время в Российской Федерации документы, нормирующие требования к рециклинговому щебню из дробленого кирпича и кирпичной кладки (на основе силикатного кирпича), практически отсутствуют. Для широкого применения в строительной отрасли рециклингового щебня необходимо проведение комплекса экспериментальных работ с разработкой нового ГОСТ, что позволит усовершенствовать процессы утилизации каменных, кирпичных конструкций и изделий с завершённым сроком эксплуатации для получения качественного и готового к применению строительного материала. Энергетические затраты на производство рециклингового (вторичного) дробленого кирпичного щебня в разы меньше, чем обычного. Небольшая цена и простота получения создают широкую сферу применения рециклингового (вторичного) щебня из силикатного кирпича. Кроме этого, применение рециклингового (вторичного) щебня существенно снижает техногенную нагрузку на природную среду, а его нейтральность при использовании не загрязняет окружающую среду.

## Список литературы

1. *Kikuchi M., Doshō Y., Narikawa M., Ohshima Y., Koyama A., Miura T.* Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. In: SP-179: Fourth CANMET/ACI/JCI Conference: Advances in Concrete Technology. Tokushima. Japan; 1998. p.1073–1101. <https://doi.org/10.14359/6087>
2. *Donavan C.T.* Recycling of construction waste. The new solutions of old problems. Resource Recycling. 1991;(8):146–155.
3. Об отходах производства и потребления (с изменениями и дополнениями): Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года [Интернет]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/)
4. Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 868-р от 10 мая 2016 г. [Интернет]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/RnBfAw072e3tmmykU2lRh1L1HaHeG0q.pdf>
5. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации № 176 от 19 апреля 2017 г. [Интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420396664>

## References

1. *Kikuchi M., Doshō Y., Narikawa M., Ohshima Y., Koyama A., Miura T.* Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. In: SP-179: Fourth CANMET/ACI/JCI Conference: Advances in Concrete Technology. Tokushima. Japan; 1998. p.1073–1101. <https://doi.org/10.14359/6087>

2. *Donavan C.T.* Recycling of construction waste. The new solutions of old problems. *Resource Recycling*. 1991;(8):146–155.
3. On Production and Consumption Waste: Federal Law No. 89-FZ of June 24, 1998 [Internet]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) [in Russian].
4. Strategy for the development of the construction materials industry for the period up to 2020 and further prospects up to 2030: Decree of the Government of the Russian Federation No. 868-r dated May 10, 2016 [Internet]. Available at: <http://static.government.ru/media/files/RnBfAw072e3tmmkyU2lrh1Ll1HaHeG0q.pdf> [in Russian].
5. Strategy of environmental safety of the Russian Federation for the period up to 2025: Decree of the President of the Russian Federation No. 176 dated April 19, 2017 [Internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420396664> [in Russian].

## Информация об авторах / Information about the authors

**Замир Узаирович Беппаев**<sup>✉</sup>, канд. техн. наук, зав. лабораторией обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: beton61@mail.ru

**Zamir U. Bepbaev**<sup>✉</sup>, Cand. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: beton61@mail.ru

**Лидия Хореновна Аствацатурова**, старший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Lydia H. Astvatsaturova**, Senior Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Сергей Алексеевич Колодяжный**, научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Sergei A. Kolodyazhny**, Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Сергей Анатольевич Вернигора**, младший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Sergey A. Vernygora**, Junior Researcher of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

**Владислав Владимирович Лопатинский**, инженер лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

**Vladislav V. Lopatinsky**, Engineer of Laboratory of Inspection and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures No. 9, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author