

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЦИКЛИНГОВОГО ЩЕБНЯ ИЗ БОЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОНОВ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## PROSPECTS FOR THE USE OF RECYCLING CRUSHED BATTLE OF CERAMIC BRICKS AS AGGREGATES FOR PRODUCTION OF CONCRETE FOR GENERAL CONSTRUCTION PURPOSE

З. У. БЕППАЕВ, канд. техн. наук  
Л. Х. АСТВАЦАТУРОВА  
С. А. КОЛОДЯЖНЫЙ  
С. А. ВЕРНИГОРА

*Приведены результаты определения плотности и прочности бетона на основе щебня из боя керамического кирпича, полученного при дроблении (утилизации) некондиционного керамического кирпича. Рециклинговый щебень из боя керамического кирпича представляет собой материал (продукт), получаемый дроблением некондиционного керамического кирпича, керамических камней, фрагментов кирпичной кладки на их основе, а также бетонных и железобетонных конструкций и изделий с заполнителями из боя керамического кирпича. Выявлено, что рециклинговый*

*The results of determining the density and strength of concrete based on crushed battle of ceramic bricks obtained by crushing (recycling) of substandard ceramic bricks are presented.*

*Recycling rubble from the battle of ceramic bricks is a material (product), obtained by crushing substandard ceramic bricks, ceramic stones, fragments of brick masonry based on them, as well as concrete and ferroconcrete structures and products with fillers from the battle of ceramic bricks. It is revealed that the recycling crushed stone obtained from non-conditioned ceramic*

щебень, получаемый из некондиционного керамического кирпича и из керамических камней, состоит из зерен кирпичного боя различных фракций. Рециклинговый щебень, получаемый дроблением фрагментов кирпичной кладки на основе керамического кирпича, керамических камней, а также бетонных и железобетонных конструкций с заполнителями из боя керамического кирпича, состоит преимущественно из зерен кирпичного боя, зёрен раствора, а также агрегированных в единый конгломерат зерен кирпичного боя и раствора различных фракций. Плотность бетона на основе щебня из боя керамического кирпича варьируется в пределах от 1810 до 1974 кг/м<sup>3</sup>. Прочность бетона на основе щебня из боя керамического кирпича составляет от 16,4 до 20,3 МПа.

#### Ключевые слова:

Безотходность технологического процесса, вторичное использование материалов, рециклинг, рециклинговый щебень из боя керамического кирпича

brick and ceramic stones consists of grains of brick fight of various fractions. Recycling crushed stone obtained by crushing brick masonry fragments based on ceramic bricks, ceramic stones, as well as concrete and reinforced concrete structures with aggregates from ceramic bricks, mainly consists of brick grains, mortar grains, as well as brick grains and mortar aggregated into a single conglomerate different fractions.

The density of concrete based on crushed stone from the battle of ceramic bricks varies from 1810 to 1974 kg/m<sup>3</sup>. The strength of concrete based on crushed stone from the battle of ceramic bricks varies from 16.4 to 20.3 MPa.

#### Key words:

Recycling, recycling materials, recycling rubble from the battle of ceramic bricks, waste-free technological process

В настоящее время одним из перспективных направлений ресурсо- и энергосбережения в производстве бетонов является использование вторичного строительного сырья, в том числе рециклируемых материалов, т. е. обладающих свойствами многократного использования.

Во всех цивилизованных странах проблеме отходов, образующихся в процессе производства, в том числе — при утилизации элементов кирпичной кладки и некондиционного кирпича, уделяется значительное внимание. В частности, в странах Евросоюза принята устойчиво развивающаяся концепция (нашедшая отражение в нескольких директивах, принятых в начале 90-х годов прошлого века), заключающаяся в создании системы рециклинга и вторичном использовании материалов. Таким образом предотвращается образование отходов и оптимизируется процесс их вторичной обработки.

Евросоюз и национальные политики большинства европейских стран поощряют местные органы власти к сведению до минимума производства отходов строительства и сноса и к поиску путей создания альтернативной замены природным ресурсам. С целью сохранения окружающей среды в некоторых странах были созданы законы, обязывающие рециклирование всех строительных отходов, в том числе элементов кирпичной кладки и некондиционного кирпича, реутилизация которых позволила бы уменьшить стоимость строительства и сохранить в первозданном виде ландшафт окружающей среды.

В США большое значение в стимулировании организации производства вторичного сырья из отходов имеет государственное регулирование на уровне как государства, так и отдельно взятого штата. Расходы предприятий и правительства на мероприятия, направленные на защиту окружающей среды, составляют более 90 млрд долл. США, 60 % из которых расходуется предпринимателями. Использование вторичного сырья поощряется на государственном уровне, запрещено захоронение отходов, произведенных на территории другого штата. В некоторых штатах устанавливается высокая плата за захоронение отходов. Стоимость переработки отходов во вторичное сырье значительно ниже, чем стоимость утилизации отходов, что является важным экономическим стимулом для создания новых технологий, позволяющих наладить безотходное производство.

В Японии уделяется особое внимание вопросам использования вторичного сырья. Высокие темпы развития промышленного производства привели к проблеме чрезвычайно высокого уровня загрязнения окружающей среды на рубеже 60-х годов прошлого века. Кроме того, большие земельные территории становились непригодными для хозяйственной деятельности и для жизни в связи с массовым захоронением отходов. В 1967 г. был принят «Основной закон об охране окружающей среды», к которому затем был принят ряд поправок. Основной концепцией закона является возложение обязанностей по переработке отходов на предприятия – производители отходов. Активное внедрение в Японии системы рециклинга позволило создать новые рабочие места, появившиеся в результате расширения производства, снизить себестоимость производимой продукции, уменьшить расход первичных материальных и энергетических ресурсов.

Таким образом, в соответствии с системой обращения с отходами (одобренной ведущими развитыми странами мира) действует следующая приоритетность мероприятий в области переработки отходов: снижение количества образующихся отходов, а также их вторичное использование и переработка. При этом в развитых странах мира принята четкая иерархия методов обращения с отходами, при которой наиболее предпочтительным путем утилизации отходов является их рециклинг, т. е. процесс переработки и возвращения отходов в повторный оборот в качестве кондиционного товара.

Для Российской Федерации использование вторичных ресурсов и внедрение системы рециклинга в производственный процесс является относительно новым, перспективным направлением. В настоящее время переработка вторичных ресурсов не выделена в отдельный объект государственного регулирования – Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 г. «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» [1], 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» [2] отмечается низкий уровень вовлечения отходов производства и потребления в новое производство (п. 8, с. 19).

Использование вторичных ресурсов, а также масштабное освоение и внедрение системы рециклинга в производственный процесс Российской Федерации отвечает основным положениям Указа Президента Российской Федерации № 176 от 19 апреля 2017 г., которым

утверждена Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года [3].

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 Российской Федерации ежегодный объём строительных отходов (в том числе при утилизации каменных конструкций и изделий на основе керамического кирпича), образующихся в результате ремонта, реконструкции и сноса зданий, составляет 12 – 14 млн т. При этом в ближайшие годы объём строительных отходов может увеличиться до 35 – 45 млн т. В частности, при сносе одного 5-этажного дома образуется около 15 тыс. т отходов.

Рециклинговый щебень из боя керамического кирпича представляет собой материал (продукт), получаемый дроблением некондиционного керамического кирпича, керамических камней, фрагментов кирпичной кладки на их основе, а также бетонных и железобетонных конструкций и изделий с заполнителями из боя керамического кирпича. Рециклинговый щебень, получаемый из некондиционного керамического кирпича и керамических камней, состоит из зерен кирпичного боя различных фракций. Рециклинговый щебень, получаемый дроблением фрагментов кирпичной кладки на основе керамического кирпича, керамических камней, а также бетонных и железобетонных конструкций с заполнителями из боя керамического кирпича, состоит преимущественно из зерен кирпичного боя, из зёрен раствора, а также агрегированных в единый конгломерат зерен кирпичного боя и раствора различных фракций. Рециклинговый щебень из боя керамического 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, повышение долговечности конструкций и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду, в том числе сохранение невозполнимых источников природных ресурсов.

Применение вторичного рециклированного щебня из боя керамического кирпича в качестве заполнителей для производства бетонов приобретает особую актуальность в связи с Законом г. Москвы от 17 мая 2017 года №14 «О дополнительных гарантиях жилищных и имущественных прав физических и юридических лиц при осуществлении реновации жилищного фонда в городе Москве». Реновация жилищного фонда в г. Москве предусматривает снос ветхого жилья, в том числе кирпичных домов. Объектом сноса выступают дома «первого периода индустриального домостроения» — иными словами, пятиэтажки

и четырехэтажки, возведенные с 1957 по 1975 г. Одним из наиболее рациональных путей утилизации отходов, образующихся при сносе кирпичных домов, с экологической и экономической точек зрения является их рециклирование с получением вторичного щебня из боя керамического кирпича с последующим применением его в качестве заполнителей для производства бетонов общестроительного назначения.

Общий вид рециклингового щебня, изготовленного в современных условиях из боя керамического кирпича, полученного дроблением некондиционного керамического кирпича и керамических камней, приведен на рис. 1. Общий вид рециклингового щебня из боя керамического кирпича, полученного дроблением кирпичной кладки на основе керамического кирпича, керамических камней, а также бетонных и железобетонных конструкций с заполнителями из боя керамического кирпича, приведен на рис. 2.



**Рис.1.** Общий вид рециклингового щебня из боя керамического кирпича, полученного дроблением некондиционного керамического кирпича и керамических камней



**Рис.2.** Общий вид рециклингового щебня из боя керамического кирпича, полученного дроблением кирпичной кладки на основе керамического кирпича, керамических камней, а также бетонных и железобетонных конструкций с заполнителями из боя керамического кирпича

Рециклинговый щебень из боя керамического кирпича, как правило, имеет насыпную плотность  $800 - 900 \text{ кг/м}^3$ , с его использованием получают бетоны плотностью  $1800 - 2000 \text{ кг/м}^3$ , т. е. на 15 – 20% легче, чем на обычных тяжелых заполнителях.

Бетоны на основе щебня из боя керамического кирпича широко применялись при строительстве различных зданий и сооружений с конца XIX в. и до 60-х годов XX в. Бетоны на основе щебня из боя керамического кирпича использовали при устройстве монолитных фундаментов, монолитных и сборных колонн, а также плоских и цилиндрических (в форме сводов) монолитных плит перекрытий и покрытия по стальным балкам.

В таких бетонах щебень из боя керамического кирпича применялся в качестве крупного заполнителя, в качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок. Щебень из боя керамического кирпича применялся, как правило, не фракционированный, размеры зерен щебня варьировались от 3 до 50 мм.

До 1946 г. требования к щебню из боя керамического кирпича практически не нормировались. В 1946 г. вступил в действие ГОСТ 3192-46 «Щебень кирпичный и керамический для обычного бетона», далее этот ГОСТ в 1950 г. был заменен на ГОСТ 3192-50 «Щебень кирпичный и керамический для обычного бетона» со следующими основными определениями и требованиями:

- щебень кирпичный и керамический получается дроблением отходов керамического производства или производства обыкновенного или дорожного кирпича (клинкера);
- по крупности зерен, зерновому составу, объему пустот должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к гравиям для обычного бетона;
- зерен мельче 5 мм допускается не более 10% по весу, в том числе зерен мельче 0,15 мм – не более 5%;
- предел прочности при сжатии бетона на испытываемом щебне должен быть не менее 120% от требуемой марки бетона;
- содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на  $SO_3$  для армированного бетона — не более 1%, не армированного – не более 3%;
- щебень кирпичный и керамический применяется для бетона и железобетона марок до 150 надземных конструкций, не насыщаемых водой, а также для фундаментов зданий III класса;
- приемка, отбор средней пробы, методы испытаний те же, что и у гравия для обычного бетона.

До 15 февраля 1960 г. щебень из боя керамического кирпича для производства бетонов применялся в соответствии с положениями ГОСТ 3192-50. 15 февраля 1960 г. ГОСТ 3192-50 был отменен без последующей замены.

С целью определения прочности и плотности бетонов с использованием в качестве крупного заполнителя щебня из боя керамического кирпича сотрудниками Лаборатории №9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены комплексные экспериментальные исследования. Для проведения работ из плиты перекрытия реконструируемого здания (построенного в конце XIX в.) были отобраны фрагменты бетона, затем из этих фрагментов были выбурены керны с диаметром 74 мм. Далее керны были распилены на образцы в соответствии с требованиями ГОСТ 28570-90 «Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций».

Общий вид отобранных из плиты перекрытия реконструируемого здания фрагментов бетона показан на рис. 3. Общий вид выбуренных из фрагментов бетона кернов приведен на рис. 4.

Осмотр фрагментов бетона и выбуренных кернов показал, что распределение щебня в бетоне плит неравномерное, количество щебня в бетоне практически эквивалентно количеству растворной части. В качестве мелкого заполнителя в бетоне использован кварцевый песок. Щебень из боя керамического кирпича в бетоне не фракционированный, размеры зерен щебня варьируются от 3 до 40 мм. В рассматриваемых фрагментах бетон некачественно провибрирован, в структуре бетона имеются многочисленные дефекты в виде пустот и полостей.

Общий вид структурных дефектов (полостей и пустот) в бетоне плиты перекрытия реконструируемого здания приведен на рис. 5.



**Рис.3.** Общий вид отобранных из плиты перекрытия реконструируемого здания фрагментов бетона



**Рис.4.** Общий вид выбуренных из фрагментов бетона кернов



**Рис.5.** Общий вид структурных дефектов (полостей и пустот) в бетоне плиты

Общий вид образцов бетона из распиленных кернов показан на рис. 6.

Результаты определения плотности и прочности бетона с использованием в качестве крупного заполнителя щебня из боя керамического кирпича приведены в табл. 1 и 2. Полученные результаты свидетельствуют, что плотность бетона на основе щебня из боя керамического кирпича варьируется в пределах от 1810 до 1974 кг/м<sup>3</sup>. По средней плотности рассматриваемый бетон в соответствии с ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» можно классифицировать как легкий бетон (марки по средней плотности от D800 до D2000).



Рис.6. Общий вид образцов бетона из распиленных кернов

Таблица 1

**Результаты определения плотности бетона с использованием в качестве крупного заполнителя щебня из боя керамического кирпича**

Номера образцов	Вес образцов, г	Объем образцов, см <sup>3</sup>	Плотность образцов, кг/м <sup>3</sup>
1	599	331	1810
2	599	309,5	1935
3	588	305,2	1927
4	610	309,5	1971
5	628	318,1	1974

Таблица 2

**Результаты определения прочности бетона с использованием в качестве крупного заполнителя щебня из боя керамического кирпича**

№ № п. п.	Вес, г	Высота h, см	Диаметр d, см	S, см <sup>2</sup>	V, см <sup>3</sup>	P, кН	$R_{обр}$ МПа	h/d	$\eta_1$	$R_{обр} \cdot \eta_1$	$\alpha$	$R_{сж}$ МПа
1	599	7,7	7,4	42,99	331	72,2	16,8	1,04	1,0	16,8	1,01	17,0
2	599	7,2	7,4	42,99	309,5	78,5	18,3	0,97	1,0	18,3	1,01	18,4
3	588	7,1	7,4	42,99	305,2	70,0	16,3	0,96	1,0	16,3	1,01	16,4
4	610	7,2	7,4	42,99	309,5	84,5	19,7	0,97	1,0	19,7	1,01	19,9
5	628	7,4	7,4	42,99	318,1	86,5	20,1	1,00	1,0	20,1	1,01	20,3



Прочность бетона на основе щебня из боя керамического кирпича варьируется от 16,4 до 20,3 МПа. По ГОСТ 25820-2014 «Бетоны легкие. Технические условия» рассматриваемый бетон по прочности на сжатие при определенных условиях может соответствовать классам В12,5 – В15.

### Выводы

По результатам анализа существующих методов обращения с отходами, состава и результатов проведенных испытаний исследованного бетона на основе щебня из боя керамического кирпича можно констатировать, что:

- в развитых странах мира принята чёткая система методов обращения с отходами, при которой наиболее предпочтительным путем утилизации отходов является их рециклинг, т. е. процесс переработки и возвращения отходов в повторный оборот в качестве кондиционного товара;

- распределение щебня в бетоне на основе боя керамического кирпича неравномерное, количество щебня в бетоне практически эквивалентно количеству растворной части. В качестве мелкого заполнителя в бетоне использован кварцевый песок. Щебень из боя керамического кирпича в бетоне нефракционированный, размеры зерен щебня варьируются от 3 до 40 мм. В рассматриваемых фрагментах бетон уплотнен недостаточно качественно, в структуре бетона имеются многочисленные дефекты в виде пустот и полостей;

- плотность бетона на основе щебня из боя керамического кирпича варьируется в пределах от 1810 до 1974 кг/м<sup>3</sup>. Прочность бетона на основе щебня из боя керамического кирпича варьируется от 16,4 до 20,3 МПа;

- при соответствующих исследованиях в направлении оптимизации состава бетона на основе щебня из боя керамического кирпича имеется возможность получения бетонов классов по прочности от В15 до В25 с плотностью до 2000 кг/м<sup>3</sup> (по ГОСТ 27006-86 «Бетоны. Правила подбора состава») с применением фракционированного щебня (по ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1-4)») и химических добавок (по ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия (с Изменением N 1) (с Поправкой));

- для широкого применения рециклингового щебня из боя керамического кирпича в качестве заполнителей для производства бетонов общестроительного назначения в дальнейшем предполагается провести широкий комплекс экспериментальных работ с последующей разработкой самостоятельной нормативно-технической документации (или дополнений к действующим нормативно-техническим документам).

### Библиографический список

1. 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.
2. Распоряжение 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».

3. Указ Президента Российской Федерации № 176 от 19 апреля 2017 г. «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».

## Авторы:

Замир Узаирович БЕПШАЕВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Zamir BEPPAEV, Ph.D. (Engineering), Head of the Laboratory of the survey and ensure durability of concrete and concrete structures of 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 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Lidia ASTVATSATUROVA, senior researcher of the Laboratory of the survey and ensure durability of concrete and concrete structures of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: beton61@mail.ru

Сергей Алексеевич КОЛОДЯЖНЫЙ, научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey KOLODYAZHNIY, scientific worker of the Laboratory of the survey and ensure durability of concrete and concrete structures of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: beton61@mail.ru

Сергей Анатольевич ВЕРНИГОРА, младший научный сотрудник лаборатории обследования и обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey VERNIGORA, junior researcher of the Laboratory of the survey and ensure durability of concrete and concrete structures of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: nkV1956@yandex.ru