

УДК 691.32
EDN UKIZZF[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2\(633\)-101-108](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2(633)-101-108).**Е.О. НАЗАРОВ¹, А.Г. КАПТЮШИНА¹**¹Череповецкий государственный университет, ул. Луначарского, 5, Череповец, Вологодская обл., 162600, Россия

ВТОРИЧНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В БЕТОНАХ: СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация

Введение. Объем строительных отходов в России достигает миллионов тонн в год, значительную часть из этого объема составляет керамический кирпич. Вторичное использование керамических отходов представляет собой перспективное направление для повышения экологической устойчивости и снижения затрат в строительстве. В данной работе рассматриваются современные исследования по применению вторичных керамических материалов в качестве различных компонентов бетонных смесей.

Цель. Анализ результатов исследований, опубликованных за последние пять лет, посвященных влиянию вторичных керамических материалов на физико-механические свойства бетонов.

Материалы и методы. Рассмотрены результаты ряда научных исследований, посвященных влиянию различных пропорций замены традиционных заполнителей и цемента на керамические отходы. Включены данные по прочности бетона на сжатие, изгиб, растяжение, его обрабатываемости, термическому сопротивлению, водопроницаемости и долговечности.

Результаты. Установлено, что частичная замена заполнителей (до 50 %) и цемента (до 15 %) на керамические отходы может улучшать механические свойства бетона, в частности прочность на сжатие и изгиб. При этом увеличивается термическое сопротивление, но могут наблюдаться снижение текучести и рост водопроницаемости. Оптимальные соотношения зависят от фракционного состава керамических отходов и их обработки.

Выводы. Применение вторичных керамических материалов в бетонах является перспективным направлением, способствующим снижению стоимости строительных материалов и повышению их эксплуатационных характеристик. Для эффективного использования необходимо учитывать параметры замещения и дополнительно применять модифицирующие добавки.

Ключевые слова: бетон, керамические отходы, вторичные керамические материалы, заполнитель, замена вяжущего, керамическая пыль, прочностные характеристики

Для цитирования: Назаров Е.О., Каптюшина А.Г. Вторичные керамические материалы в бетонах: современные достижения и перспективы // *Бетон и железобетон*. 2026. № 2 (633). С. 101–108. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2\(633\)-101-108](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2(633)-101-108). EDN UKIZZF

Вклад авторов

Назаров Е.О. – подбор литературы для анализа, анализ материалов, подготовка и оформление статьи. Каптюшина А.Г. – постановка задачи, обобщение и систематизация результатов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.11.2025

Поступила после рецензирования 12.01.2026

Принята к публикации 05.03.2026

E.O. NAZAROV¹, A.G. KAPTUSHINA¹

¹Cherepovets State University, Lunacharskogo str., 5, Cherepovets, Vologda region, 162600, Russia

SECONDARY CERAMIC MATERIALS IN CONCRETE: MODERN ACHIEVEMENTS AND PERSPECTIVES

Abstract

Introduction. The volume of construction waste in Russia reaches millions of tons per year, a significant part of which is ceramic bricks. Recycling of ceramic waste is a promising direction for improving environmental sustainability and reducing costs in construction. This paper reviews current research on the use of recycled ceramic materials as aggregates and binders in concrete.

Aim. The purpose of this review is to analyze the results of research published in the last five years on the effect of secondary ceramic materials on the physical and mechanical properties of concrete.

Materials and Methods. The results of several scientific studies on the effect of different proportions of replacement of traditional aggregates and cement with ceramic waste materials are reviewed. Data on concrete compressive, flexural, tensile strength, workability, thermal resistance, water permeability and durability are included.

Results. It was found that partial replacement of aggregates (up to 50 %) and cement (up to 15 %) with ceramic waste can improve the mechanical properties of concrete, in particular compressive and flexural strength. Thermal resistance increases, but there may be a decrease in flowability and an increase in water permeability. The optimum ratios depend on the fractional composition of the ceramic waste and its processing.

Conclusions. The use of secondary ceramic materials in concrete is a promising direction that contributes to reducing the cost of construction materials and improving their performance characteristics. For effective use it is necessary to take into account the substitution parameters and additionally apply modifying additives.

Keywords: Concrete, ceramic waste, recycled ceramic materials, aggregate, binder replacement, ceramic dust, strength characteristics

For citation: Nazarov E.O., Kaptushina A.G. Secondary ceramic materials in concrete: modern achievements and perspectives. *Concrete and Reinforced Concrete*, 2026, no. 2 (633), pp. 101–108. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2\(633\)-101-108](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2(633)-101-108). EDN UKIZZF

Authors contribution statement

Nazarov E.O. – selection of references for analysis, analysis of materials, preparation and drafting of the article
Kaptushina A.G. – problem statement, summarizing and systematizing results obtained.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declares no conflict of interest.

Received 17.11.2025

Revised 12.01.2026

Accepted 05.03.2026

Введение

По общим оценкам, объем строительных отходов в России может составлять миллионы тонн в год, и керамический кирпич является заметной частью этого объема. Данный материал является перспективным с точки зрения повторного использования, что подтверждается значительным интересом со стороны мирового научного сообщества. Различные варианты вторичного применения данного материала обсуждаются научными сотрудниками по всему миру. В статье рассмотрены результаты нескольких научных исследований, опубликованных в научной литературе за последние пять лет.

Одним из перспективных направлений вторичного использования керамических отходов является применение их в качестве заполнителей в бетонных смесях. Так, в статьях [1–4] рассматривается возможность замены широкого спектра фракций заполнителей бетонных смесей на различные керамические от-

ходы, а также эффект от их применения, выраженный в изменении его свойств.

Применение керамических отходов в качестве заполнителей в бетонных смесях продемонстрировало положительное влияние на ряд характеристик бетона. В нескольких исследованиях зафиксировано, что при замене до 10–15 % традиционных заполнителей сохраняется или даже улучшается прочность на сжатие, растяжение и изгиб, а также повышается термическое сопротивление.

Улучшение сопротивления истиранию и увеличение проницаемости (рис. 1) из-за пористой структуры керамических включений отмечено в статье [1], опубликованной в Германии в 2023 году, а также статье [2], опубликованной в Индии в 2021 году. Замещение 75 % традиционных заполнителей на керамические отходы позволяет достигнуть снижения стоимости бетонной смеси до 9,81 %, что демонстрируется в результатах исследования [1].

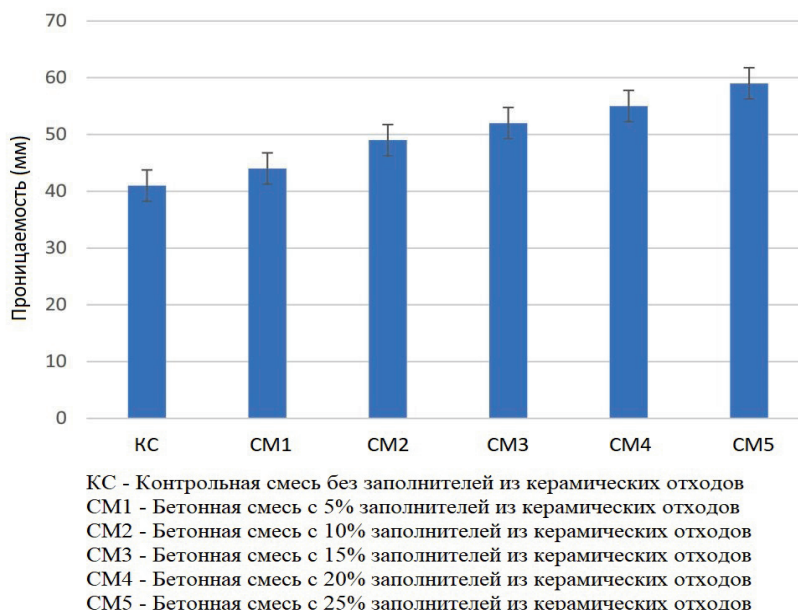


Рис. 1. Проницаемость бетона на основе керамических заполнителей [2]
Fig. 1. Permeability of waste ceramic concrete [2]

В других работах установлено, что при увеличении доли керамических отходов снижается плотность и прочность бетона, однако одновременно возрастает его теплоизоляционная способность (рис. 2). Наиболее оптимальной признана смесь с 50 % керамического заполнителя, обеспечивающая баланс между теплоизоляцией и приемлемой прочностью, что показано в результатах исследования [3], опубликованных в Швейцарии в 2023 году. Кроме того, исследование [4], изданное в Индии в 2022 году доказало возможность полного замещения традиционных заполнителей на керамические отходы. При применении соответствующих добавок (суперпластификаторы, кремнеземная мука) удаётся добиться нормативной прочности и приемлемой обрабатываемости бетонной смеси даже при низком водоцементном соотношении.

Исследования по применению вторичных керамических материалов в качестве замены крупных фракций заполнителя в бетоне также выявили ряд положительных эффектов. Наиболее стабильные и оптимальные результаты прочности были получены при замещении 40–50 % традиционного заполнителя. В этом диапазоне зафиксирован рост прочности на сжатие (до 4,13 %), растяжение (до 13 %), изгиб (до 7,51 %), сдвиг (до 0,53 %) и повышение модуля упругости до 30,045 МПа, что превышает значение для обычного бетона. При 50 %-ной замене была достигнута наивысшая прочность на сжатие – 25,68 МПа (рис. 3), что немного превышает стандартную проектную прочность (25 МПа). Кроме того, в этом же диапазоне наблюдались наилучшие показатели соотношения напряжений (29,42 МПа) и деформаций (0,00254),

что свидетельствует об улучшении жёсткости и механических характеристик материала. При увеличении доли замещения свыше 40–50 % наблюдалось ухудшение прочностных характеристик, связанное с повышенным водопоглощением и более гладкой текстурой керамического заполнителя, что снижало сцепление

между его частицами. Также зафиксировано снижение текучести бетонной смеси с ростом содержания керамических компонентов, что влияет на обрабатываемость. Данные результаты демонстрируются в работах, опубликованных в Южной Корее [5] и Великобритании [6] в 2023 году.

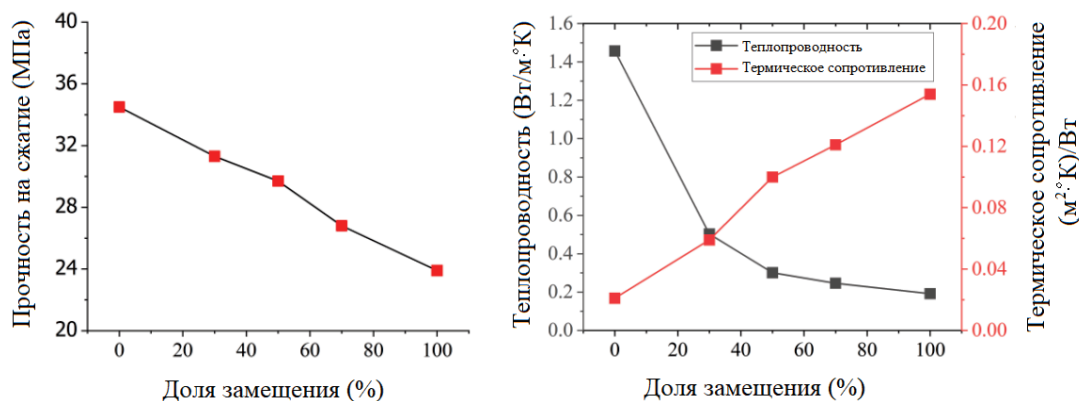


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие, теплопроводности и термического сопротивления от доли замещения (%) [3]
 Fig. 2. Compressive strength, thermal conductivity and thermal resistance as a function of replacement ratio (%) [3]

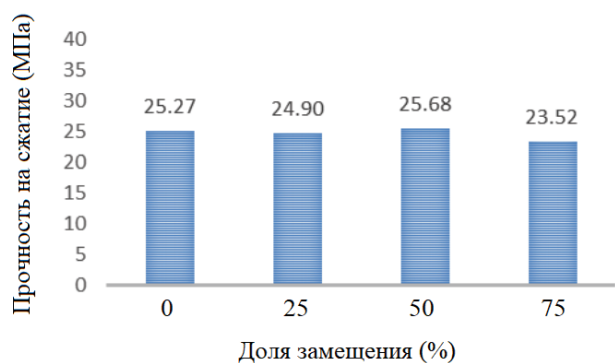


Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие от доли замещения (%) [6]

Fig. 3. Compressive strength as a function of replacement ratio (%) [6]

Замещение до 20 % традиционного крупного заполнителя керамическими отходами повышает комбинированную прочность на изгиб и кручение, что может быть полезно при проектировании конструкций, подверженных сложным нагрузкам (рис. 4). Данная информация подтверждается результатами экспериментов, представленных в работе [7], изданной в 2020 году в Сингапуре.

Применение керамических отходов в качестве мелкого заполнителя в бетонных смесях также оказывает положительное влияние на прочностные и конструктивные характеристики бетона при частичной их замене. Так, исследование [8], опубликованное в Индии в 2023 году демонстрирует достижение наилучших показателей прочности на сжатие и растяжение при 10 %-ной замене мелкого заполнителя. В этом случае бетон показал прочностные характеристики, превосходящие показатели обычного бетона, а железобетонные балки продемонстрировали улучшенное поведение при прогибе, что указывает на более эф-

фективную работу конструкции при нагрузке. В другом исследовании [9], выпущенном в Великобритании в 2023 году было установлено, что наилучшие прочностные характеристики достигаются уже при 50%-ной замене мелкого заполнителя на керамический. В данном случае максимальная прочность на сжатие составила – 52,5 МПа, что на 12,5 % выше, чем у контрольной смеси. Прочность на изгиб увеличилась до 8,5 МПа, что на 9,33 % выше, чем у контрольной смеси, а предел прочности при разрывном растяжении – до 7,8 МПа, что превышает показатель контрольной смеси на 28,76 %. Отмечается значительное снижение водопоглощения и умеренное уменьшение текучести.



Рис. 4. Влияние вторичных керамических материалов на комбинированную прочность бетона при изгибе и кручении на 28 сутки [7]

Fig. 4. The Effect of Ceramic Waste Aggregate on Concrete Strength for combined flexural and torsion (28 days) [7]

Дополнительно подтверждено, что использование мелких керамических заполнителей повышает термостойкость бетона. При температурных испытаниях

до 800 °С бетон с 40 %-ной заменой показал снижение прочности на 57,02 % по сравнению с обычным бетоном, у которого снижение прочности составило 61,81 %. Результаты испытаний представлены в табл. 1. Использование мелких керамических запол-

нителей уменьшает внутренние напряжения, снижает растрескивание и улучшает поведение после воздействия высоких температур, что подтверждается результатами эксперимента, представленного в статье [10], обнародованной в Сингапуре в 2022 году.

Таблица 1

Сравнение снижения прочности различных бетонных смесей [10]

Table 1

Strength decrease comparison of various concrete mix [10]

Доля замещения (%)	Снижение прочности при заданных температурах (%)				
	25 °С	500 °С	600 °С	700 °С	800 °С
0	0	14,12	35,53	48,02	61,81
5		12,31	34,60	48,02	54,88
10		13,36	34,69	47,51	58,85
15		12,42	33,48	47,00	56,19
20		12,23	33,14	46,71	56,82
25		13,07	34,43	45,88	58,28
30		12,93	32,93	44,75	55,73
35		12,59	32,03	46,08	57,57
40		13,91	30,87	45,46	57,02

Другим направлением потенциального использования керамических отходов является применение в качестве частичного заменителя вяжущего. Так, частичная замена цемента на порошок из керамических отходов в пределах 10 % способствует увеличению прочности на сжатие (рис. 5) на 28 сутки на 13 % по сравнению с контрольной смесью. Помимо этого, демонстрируется также и повышенная прочность на изгиб и растяжение по сравнению с контрольной смесью. Дальнейшая замена более чем на 15 % показала снижение прочности, но при этом сохранила уровни, приемлемые для применения в конструкционном бетоне в умеренно агрессивных средах. К таким результатам пришли авторы исследований, изданных в Швейцарии в 2021 году [12] и в 2023 году [16].

Кроме того, использование керамических отходов улучшало микроструктуру бетона за счёт усиления процесса геополимеризации и активации пуццолановых реакций, что приводило к увеличению плотности материала при сохранении пустотности на уровне бетонов с чистым портландцементом. При 10 %-ной и 15 %-ной замене прочность на сжатие была сопоставима с контрольной смесью на 7 и 28 сутки (табл. 2). Увеличение доли замены цемента выше 20 % вызывало снижение прочности, но при этом оставалось в пределах, приемлемых для конструкционного бетона в умеренно агрессивных средах. Влияние замены на прочность при растяжении и изгибе также было положительным при уровне замены до 20 %, но при дальнейшем увеличении происходило снижение механических характеристик. Эти данные подтверждаются в исследованиях, где замена цемента на 10–15 % керамического порошка повысила прочностные показатели и улучшила микроструктуру бетона, а при увеличении до 20–30 % прочность на сжатие оставалась на уровне обычного бетона, с последующим снижением при 40 % замене. Показано, что замена до 20 % обеспечивала прочность на изгиб выше контрольной, тогда как при 40 % наблюдалось её уменьшение. Водопоглощение снижалось при содержании керамической пыли до 10 %, но увеличивалось при более высоких значениях. Текучесть и обрабатываемость при добавлении керамической пыли не изменялись существенно. В целом, оптимальная замена составляла 5–15 %, обеспечивая улучшение прочностных характеристик и теплоизоляционных свойств, что подтверждается результатами исследований, опубликованных в Индии в 2022 году в статьях [11], [14].

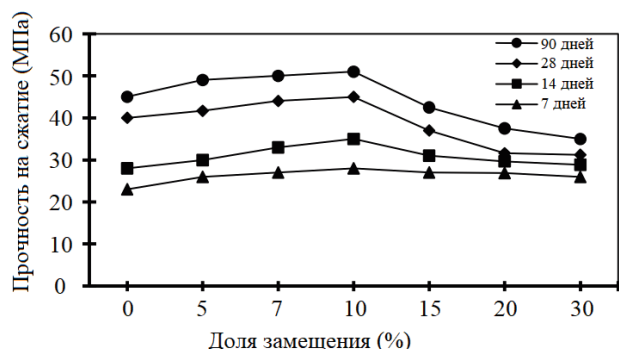


Рис. 5. Прочность на сжатие бетонных смесей различных периодов твердения [16]

Fig. 5. Compressive strength results for concrete mixtures at different ages [16]

Таблица 2
Характеристики бетонных смесей с различными долями замещения вяжущего [11]

Table 2

Properties of concrete mixtures with various binder replacement levels [11]

Доля замещения (%)	Плотность (кг/м ³)	Прочность на сжатие (МПа)				Прочность на растяжение (МПа)	Модуль упругости (МПа)
		3 сутки	7 сутки	28 сутки	56 сутки		
	28 сутки	3 сутки	7 сутки	28 сутки	56 сутки	28 сутки	56 сутки
0	2387	12.07	27.10	49.02	49.96	3.65	26414.00
10 (а)	2395	10.86	26.99	45.95	44.00	3.69	25482.00
15 (а)	2392	10.80	27.32	45.38	45.62	3.74	26545.33
20 (а)	2319	2.87	9.88	26.07	32.68	1.29	21514.00
10 (б)	2385	16.92	30.76	48.78	47.81	3.64	26043.33
15 (б)	2379	10.91	29.42	43.84	49.96	3.78	28411.33
20 (б)	2300	3.24	11.73	27.00	31.42	2.27	18661.00

а – порошок из стекловидной керамической плитки, б – порошок из керамической плитки

Использование керамической пыли в качестве частичной замены вяжущего в пенобетонах не оказывает существенного влияния на текучесть и обрабатываемость, а оптимальная прочность на сжатие достигается при 5 %-ной замене цемента (рис. 6), тогда как более

высокие уровни замещения приводили к последующему снижению прочности. Положительное влияние замена вяжущего на керамическую пыль оказала также и на повышение теплоизоляционных свойств пенобетона, что отражено в статье [13], изданной в 2021 году в Малайзии.

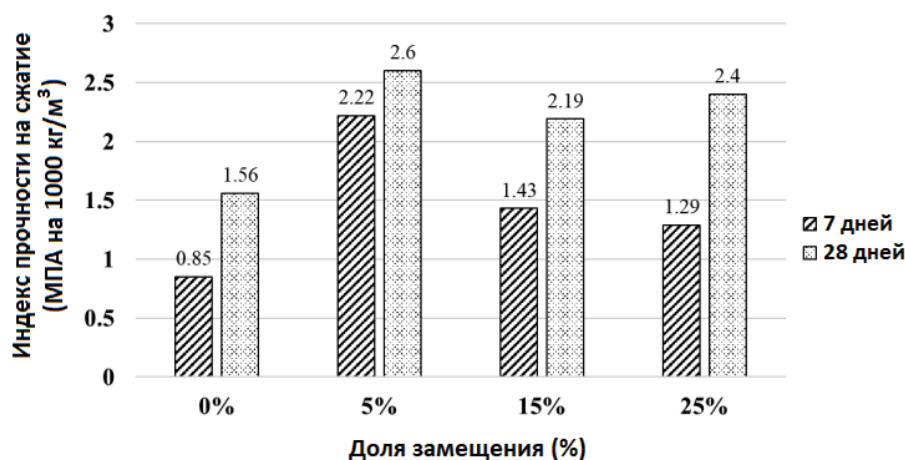


Рис. 6. График зависимости показателя прочности на сжатие от различных уровней замены керамической пыли при водоцементном соотношении 0,52 [13]

Fig. 6. Graph of compressive strength performance index against different ceramic dust replacement level at water-cement ratio 0.52 [13]

Исследование железобетонных балок, выполненных из бетона с 10 %-ной заменой цемента на керамический порошок показало снижение прочности на изгиб и сдвиг из-за повышенной пористости. Однако добавление 35 % молотого доменного шлака восстановило и улучшило эти характеристики, при этом смесь из 55 % цемента, 35 % доменного шлака и 10 % керамического порошка показала улучшение прочности на сдвиг на 48 % по сравнению с контрольной. Это свидетельствует о возможности комбинированного использования добавок для улучшения механических свойств и долговечности бетона. Такие результаты демонстрируются в

работе [15], опубликованной в 2023 году в Великобритании.

Комбинированная замена 10 % цемента на керамический порошок и 50 % песка на мелкий керамический наполнитель показала повышение прочности бетона на сжатие и изгиб на 5,33 % и 8,14 % соответственно. Результаты испытаний прочности на сжатие представлены на рис. 7. При этом было отмечено снижение обрабатываемости и повышение водопроницаемости смеси. Микроструктурный анализ выявил улучшение гидратации цемента при использовании такой комбинации. К такому выводу пришли авторы работы [17], обнародованной в 2023 году в Швейцарии.

Смесь	Идентификатор смеси	Цемент	Керамический порошок (CWP)	Песок	Керамический мелкий заполнитель (CWF)	Доломит	Вода	Суперпластификатор
Co	0%CWP + 0%CWF	400	0	716	0	1072	180	6
1	0%CWP + 25%CWF	400	0	537	179	1072	180	6
2	0%CWP + 50%CWF	400	0	358	358	1072	180	6
3	0%CWP + 75%CWF	400	0	179	537	1072	180	6
4	0%CWP + 100%CWF	400	0	0	716	1072	180	6
5	10%CWP + 25%CWF	360	40	537	179	1072	180	6
6	20%CWP + 25%CWF	320	80	537	179	1072	180	6
7	30%CWP + 25%CWF	280	120	537	179	1072	180	6
8	10%CWP + 50%CWF	360	40	358	358	1072	180	6
9	20%CWP + 50%CWF	320	80	358	358	1072	180	6
10	30%CWP + 50%CWF	280	120	358	358	1072	180	6
11	10%CWP + 75%CWF	360	40	179	537	1072	180	6
12	20%CWP + 75%CWF	320	80	179	537	1072	180	6
13	30%CWP + 75%CWF	280	120	179	537	1072	180	6
14	10%CWP + 100%CWF	360	40	0	716	1072	180	6
15	20%CWP + 100%CWF	320	80	0	716	1072	180	6
16	30%CWP + 100%CWF	280	120	0	716	1075	180	6

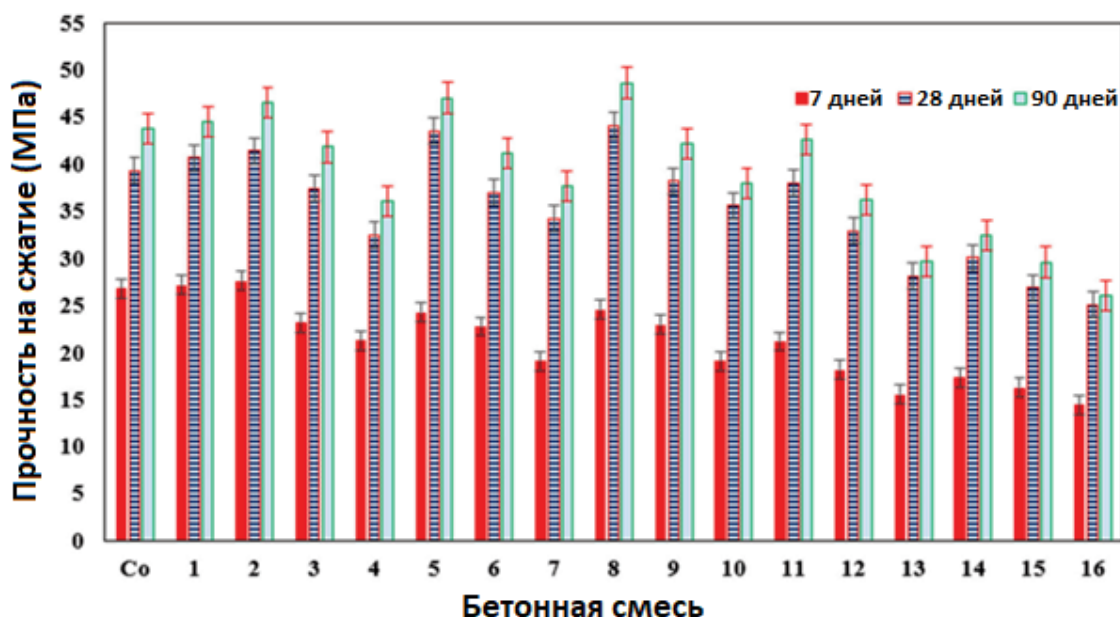


Рис. 7. Прочность на сжатие бетонных смесей [17]
 Fig. 7. Compressive strength of concrete mixtures [17]

Результаты обзора подтверждают высокий потенциал вторичных керамических материалов в составе бетонов, что открывает новые перспективы в области устойчивого строительства. Анализ исследований показывает, что оптимальные показатели механических и эксплуатационных характеристик бетона достигаются при частичной замене традиционных заполнителей и вяжущего на керамические отходы. Однако существуют определенные ограничения, связанные с изменением водопоглощения, плотности и текучести бетонных смесей.

Внедрение технологий повторного использования керамических отходов требует дальнейших исследований в области модификации их структуры и взаимодействия с цементным тестом. Кроме того, актуальными остаются вопросы стандартизации подобных материалов и разработки нормативных требований для их эффективного использования в строительстве.

Таким образом, переработка и повторное использование керамических отходов не только способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду, но и позволяет создавать более экономически эффективные и энергоэффективные строительные материалы. Будущие исследования должны быть направлены на оптимизацию состава бетонов с вторичными керамическими материалами, улучшение их долговечности и расширение области применения в строительстве.

Список литературы / References

1. Jawad A. A review on ceramic waste-based concrete: A step toward sustainable concrete / A. Jawad, W.J. Alattyih, Y. Mohammed, M. Alqurashi, N. Garcia-Troncoso. *Reviews on advanced materials science*, 2023, vol. 62, no. 1, p. 20230346. DOI: <https://doi.org/10.1515/rams-2023-0346>.

2. Goyal R.K., Agarwal V., Gupta R., Rathore K., Somani P. Optimum utilization of ceramic tile waste for enhancing concrete properties. *Materials Today: Proceedings*, 2022, vol. 49, p. 1769–1775. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.011>
3. Wang Y., Wang J., Deng Z., Xiao J. Studying Thermal and Mechanical Properties of Recycled Concrete by Using Ceramic Aggregate. *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15032642>.
4. Sharma V. Use of Waste Ceramic as Aggregate in Concrete. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 641–646. DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.39883>
5. Harikaran M., Kulanthaivel P., Krishnaraja A.R., Murugan P.C. Performance enhancement of concrete by using ceramic waste as a partial replacement for coarse aggregate. *Journal of Ceramic Processing Research*, 2023, vol. 24, no. 2, pp. 266–273. DOI: <https://doi.org/10.36410/jcpr.2023.24.2.266>.
6. Meillyta M., Wahyuni W., Fahmi Z. Mechanical Behaviour of Self-Compacting Concrete Using Ceramic Waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1140, no. 1, p. 012024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1140/1/012024>
7. Mohammed H., Ahmed S. Mechanical Performance Evaluation of Concrete with Waste Coarse Ceramic Aggregate. *Lecture Notes in Civil Engineering. Singapore*: Springer, 2020, vol. 58, pp. 593–605. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-2545-2_49.
8. Daniel R.J., Sangeetha S.P. Experimental Study of the Effect of Ceramic Waste Powder on the Mechanical and Structural Properties of Concrete: A Sustainable Approach. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 2023, vol. 10, no. 10, pp. 7–18. DOI: <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V10I10P102>.
9. Harikaran M., Boopathi S., Rajkannan M., Gokulakannan S. Impact analysis of ceramic tile powder aggregates on self-compacting concrete. *Engineering Research Express*, 2023, vol. 5, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acde48>.
10. Mujib J.M.S., Maruf Hasan M. Mujib J.M.S. Investigation on Fire Resistance of Concrete Incorporating Recycled Ceramic Fine Aggregate. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 215, pp. 417–434. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-7924-7_27.
11. Bhavsar J.K., Panchal V. Ceramic Waste Powder as a Partial Substitute of Fly Ash for Geopolymer Concrete Cured at Ambient Temperature. *Civil Engineering Journal*, 2022, vol. 8, no. 7, pp. 1369–1387. DOI: <https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-07-05>.
12. Santos Barreto E. et al. Dos Clay ceramic waste as pozzolan constituent in cement for structural concrete. *Materials*, 2021, vol. 14, no. 11, p. 2917. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14112917>.
13. Lee Y.L., Lim S.K., Lim M.H. Effect of Ceramic Dust as Partial Replacement of Cement on Lightweight Foamed Concrete. *International Journal of Integrated Engineering*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 304–312. DOI: <https://doi.org/10.30880/ijie.2021.13.04.029>.
14. Ramachandran G., Puvitha M., Sathiyapriya M., Sivagami C. Experimental Study on Concrete By Partial Replacement of Cement Using Ggbs and Nanoparticles. *International Journal of Advance Research and Innovation*, 2019, vol. 6, no. 4, pp. 1–7.
15. Abou Rachied T., Dbouk F., Hamad B., Assaad J.J. Structural behavior of beams cast using normal and high strength concrete containing blends of ceramic waste powder and blast furnace slag. *Cleaner Materials*, 2023, vol. 7, p. 100179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100179>.
16. Ghonaim S., Morsy R. Utilization of Ceramic Waste Material as Cement Substitution in Concrete. *Buildings*, 2023, vol. 13, no. 8, pp. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13082067>.
17. Elemam W.E., Agwa I.S., Tahwia A.M. Reusing Ceramic Waste as a Fine Aggregate and Supplemental Cementitious Material in the Manufacture of Sustainable Concrete. *Buildings*, 2023, vol. 13, no. 11, p. 2726. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13112726>.

Информация об авторах / Information about the authors

Евгений Олегович Назаров*, аспирант, Череповецкий государственный университет; главный инженер проекта, ООО «Северсталь-Проект», Череповец

e-mail: eonazarov@chsu.ru

Evgeniy O. Nazarov*, Postgraduate student, Cherepovets State University, chief project engineer, Severstal-Project LLC, Cherepovets

e-mail: eonazarov@chsu.ru

Алла Германовна Каптюшина, канд. техн. наук, доцент кафедры строительства имени почетного профессора Череповецкого государственного университета, доктора технических наук В.С. Грызлова, Череповецкий государственный университет, Череповец

Alla G. Kaptushina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction named after V.S. Gryzlov, Honorary Professor of Cherepovets State University, Doctor of Technical Sciences, Cherepovets State University, Cherepovets

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding author