

УДК 691.322
EDN: DENZQL

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3-\(634\)-13-18](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3-(634)-13-18)

М.Э. ДЗАПАРОВ¹, М.А. ЕНАЛДИЕВА¹, А.А. БИГУЛАЕВ¹, З.А. БАЕВ¹

¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет).
Владикавказ, Российская Федерация

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГРАВИЯ В ТЯЖЁЛОМ БЕТОНЕ

Аннотация

Введение. Дефицит и высокая стоимость гранитного щебня стимулируют поиск более доступных заполнителей для тяжёлого бетона. В статье представлены результаты лабораторного исследования, направленного на сравнение свойств тяжёлого бетона, приготовленного с использованием двух видов крупного заполнителя – гранитного щебня и природного гравия фракции 5–20 мм.

Цель. Обоснование технической и экономической целесообразности замены гранитного щебня на природный гравий в составе тяжёлого бетона при условии обеспечения прочностных характеристик не ниже требуемых.

Материалы и методы. Основное внимание уделено влиянию формы и поверхности зёрен заполнителя на водопотребность, прочность и стоимость бетонной смеси при одинаковой удобоукладываемости (марка по подвижности П5).

Результаты. Установлено, что применение гравия вместо щебня позволяет снизить расход воды [1], что приводит к уменьшению водоцементного отношения и, как следствие, к повышению прочности. В рассматриваемом в статье случае бетон на гравии достиг класса В20, в то время как аналог на щебне – только класса В15. Экономический расчёт показал снижение себестоимости на 7,8 % при замене щебня на гравий.

Выводы. Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что при корректном подборе состава гравий может быть не только экономически выгодной, но и технически предпочтительной альтернативой щебню в производстве тяжёлого бетона.

Ключевые слова: тяжёлый бетон, гравий, щебень, водоцементное отношение, прочность, водопотребность, себестоимость, подвижность бетонной смеси

Для цитирования: Дзапаров М.Э., Еналдиева М.А., Бигулаев А.А., Баев З.А. Эффективность применения природного гравия в тяжёлом бетоне // *Бетон и железобетон*. 2026. № 3(634) С. 13–18. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3-\(634\)-13-18](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3-(634)-13-18). EDN: DENZQL

Вклад авторов

Дзапаров М.Э. – концептуализация, методология, проведение исследований, написание черновика рукописи, рецензирование и редактирование.

Еналдиева М.А. – руководство (научное консультирование).

Бигулаев А.А. – руководство (научное консультирование).

Баев З.А. – проведение исследований.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.12.25

Поступила после рецензирования 04.02.26

Принята к публикации 19.03.26

M.E. DZAPAROV¹, M.A. ENALDIEVA¹, A.A. BIGULAEV¹, Z.A. BAEV¹

¹North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University).
Vladikavkaz, Russian Federation

EFFICIENCY OF NATURAL GRAVEL APPLICATION IN HEAVYWEIGHT CONCRETE

Abstract

Introduction. The shortage and high cost of granite crushed stone stimulate the search for more affordable aggregates for heavy concrete. This paper presents the results of a laboratory study aimed at comparing the properties of heavy concrete prepared using two types of coarse aggregate – granite crushed stone and natural gravel of 5–20 mm fraction.

Aim. *Substantiation of the technical and economic feasibility of replacing granite crushed stone with natural gravel in heavy concrete, provided that the strength characteristics are not lower than the required ones.*

Materials and methods. The main attention is paid to the influence of the shape and surface texture of aggregate particles on the water demand, strength, and cost of the concrete mixture under the same workability (slump class S5).

Results. It was found that the use of gravel instead of crushed stone reduces water demand [1], which leads to a decrease in the water-cement ratio and, consequently, to an increase in strength. In the case considered in this article, concrete with gravel achieved class B20, while its counterpart with crushed stone achieved only class B15. An economic calculation showed a cost reduction of 7.8 % when replacing crushed stone with gravel.

Conclusions. The experimental results indicate that, with proper mix design, gravel can be not only a cost-effective but also a technically preferable alternative to crushed stone in the production of heavy concrete.

Keywords: heavy concrete, gravel, crushed stone, water-cement ratio, strength, water demand, cost price, workability of concrete mixture

For citation: Dzaparov M.E., Enaldieva M.A., Bigulaev A.A., Baev Z.A. Efficiency of natural gravel application in heavyweight concrete. *Concrete and reinforced concrete*, 2026, no. 3(634), pp. 13–18. (In Russian) [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3-\(634\)-13-18](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3-(634)-13-18)
EDN: DENZQL

Authors contribution statement

Dzaparov M.E. – conceptualization, methodology, investigation, writing – original draft, writing – review & editing.

Baev Z.A. – investigation.

Enaldieva M.A. – supervision.

Bigulaev A.A. – supervision.

Funding

This research received no external funding.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Received 11.12.25

Revised 04.02.26

Accepted 19.03.26

Обоснование выбора заполнителей и постановка эксперимента

Одной из ключевых задач, стоящих перед современным строительным производством, является поиск оптимального соотношения между техническими характеристиками строительных материалов и их экономической эффективностью. В контексте производства тяжелого бетона особое внимание уделяется природе крупного заполнителя, поскольку именно он во многом определяет не только физико-механические свойства конечного продукта, но и его технологичность при укладке, а также себестоимость.

Традиционно в строительной практике преимущественно используется щебень, обладающий шероховатой поверхностью и угловатой формой зёрен, что способствует лучшему сцеплению с цементным камнем [2]. Однако в последние годы всё большее внимание уделяется применению природного гравия – окатанного заполнителя, который характеризуется гладкой поверхностью и округлой формой частиц. Среди специалистов распространено мнение, что именно эти особенности снижают адгезию гравия к цементному тесту и, как следствие, приводят к ухудшению прочностных характеристик бетона. Тем не менее, ряд исследований, а также практический опыт показывают, что при грамотном подборе состава бетонной смеси с использованием гравия можно достичь прочностных показателей, не уступающих, а в отдельных случаях и превосходящих аналогичные показатели бетонов на щебне.

Целью настоящего эксперимента стало сопоставление прочностных характеристик и экономических показателей двух составов тяжёлого бетона – одного на основе гранитного щебня фракции 5–20 мм и другого на основе природного гравия аналогичной фракции. Особое внимание уделялось влиянию водопотребности заполнителей [3] на прочность бетона и возможность получения качественного материала при использовании гравия.

Методика проведения эксперимента и условия испытаний

Экспериментальные замесы бетонных смесей были выполнены в лаборатории ООО «Северо-Осетинский испытательный центр» (СОИЦ). Все работы проводились в строгом соответствии с требованиями нормативных документов.

Для приготовления бетонных смесей использовались следующие компоненты:

- цемент: портландцемент ЦЕМ I 42,5Н, соответствующий ГОСТ 31108–2020 [4];
- мелкий заполнитель: мытый песок 0–5, соответствующий ГОСТ 8736–2014 [5];
- крупный заполнитель: вариант 1 – гранитный щебень фракции 5–20 мм из поймы реки Терек, соответствующий ГОСТ 8267–93 [6]; вариант 2 – природный гравий фракции 5–20 мм из поймы реки Терек, соответствующий ГОСТ 8267–93;
- вода, соответствующая требованиям ГОСТ 23732–2011 [7];

– добавка на основе эфиров поликарбоксилатов и модифицированных лигносульфонатов.

Подбор составов осуществлялся в соответствии с рекомендациями [8] с целью достижения одинаковой удобоукладываемости (марка по подвижности – П5). После подбора составов и приготовления смесей были изготовлены контрольные образцы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм. Отбор проб и формование образцов выполнялись в соответствии с ГОСТ 10181–2014 [9] и ГОСТ 10180–2012 [10].

Таблица 1

Составы бетонных смесей

Table 1

Compositions of concrete mixtures

Материал	Состав на щебне	Состав на гравии
Цемент, кг	300	300
Песок мытый, кг	975	975
Щебень 5–20, кг	975	–
Гравий 5–20, кг	–	975
Добавка, кг	3	3
Вода, кг	230	200

Образцы выдерживались в нормальных условиях твердения до достижения возраста 3, 7 и 28 суток. Испытания на сжатие проводились на автоматическом испытательном прессе ТП–1–1500 с максимальной нагрузкой 1500 кН. По результатам разрушающих испытаний определяли класс бетона по прочности на сжатие.

Результаты эксперимента

Анализ полученных данных позволил выявить существенные различия в поведении бетонных смесей и их конечных прочностных характеристиках в зависимости от типа крупного заполнителя (рис. 1).

Таблица 2

Сравнительные характеристики бетонных смесей

Table 2

Comparative characteristics of concrete mixtures

Показатель	Бетон на щебне	Бетон на гравии
Водоцементное отношение, В/Ц	0,77	0,67
Осадка конуса, см	22	21
Средняя прочность при сжатии, МПа	22,6	25,8
Класс прочности по ГОСТ 26633–2015 [11]	B15	B20
Себестоимость бетона заданного состава, руб	4270	4026

Наиболее примечательным результатом стало то, что бетон на гравии продемонстрировал более низкую водопотребность, что позволило снизить водоцементное отношение при сохранении требуемой по-

движности. Это, в свою очередь, напрямую повлияло на рост прочности цементного камня [12] и, как следствие, на класс прочности всего бетона. Таким образом, несмотря на общепринятое мнение о «слабой» адгезии гравия, его гладкая поверхность и округлая форма способствовали снижению внутреннего трения в бетонной смеси, улучшению её однородности и, главное – уменьшению общего расхода воды.

Таблица 3
Прочность образцов с использованием щебня для приготовления бетонной смеси

Table 3
Strength of specimens prepared with crushed stone for concrete mixture

Возраст образцов	Масса образцов	Прочность образцов, МПа
3-и сутки	2258	15,2
	2272	15,2
7-е сутки	2274	20,0
	2265	20,2
28-е сутки	2242	22,3
	2255	22,8

Таблица 4
Прочность образцов с использованием гравия для приготовления бетонной смеси

Table 4
Strength of specimens prepared with gravel for concrete mixture

Возраст образцов	Масса образцов	Прочность образцов, МПа
3-и сутки	2310	18,3
	2321	17,3
7-е сутки	2329	21,9
	2346	22,1
28-е сутки	2311	25,6
	2301	25,9

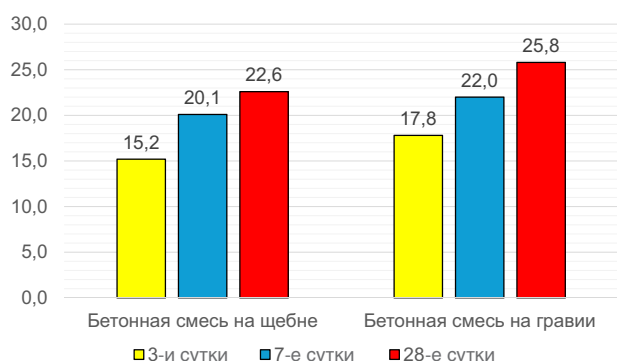


Рис. 1. Прочность образцов с использованием щебня и гравия для приготовления бетонной смеси

Fig. 1. Strength of specimens prepared with crushed stone and gravel for concrete mixture

Согласно закону Абрамса [13], прочность бетона обратно пропорциональна водоцементному отношению при условии полной гидратации цемента. В данном случае именно снижение В/Ц с 0,77 до 0,67 стало решающим фактором, позволившим бетону на гравии достичь класса В20, в то время как бетон на щебне ограничился классом В15.

Экономический аспект применения гравия

Параллельно с техническими характеристиками был проведён предварительный экономический расчёт стоимости 1 м³ бетона.

Расчёт показал, что замена щебня на гравий позволяет снизить себестоимость бетона на 7,8 % (с 4513 до 4161 рублей по ценам на декабрь 2025 года). В заданных составах вышло немного больше бетона, чем 1 м³ из-за разного количества воды, но данные все равно позволяют оценить финансовую экономию при использовании гравия вместо щебня. Для масштабных строительных проектов такая экономия может составить миллионы рублей без ухудшения, а фактически – с улучшением основного технического параметра – прочности.

Таблица 5
Себестоимость бетонных смесей

Table 5

Cost of concrete mixtures

Материал	Состав на щебне	Состав на гравии
Цемент	300*9,9=2970	300*9,9=2970
Песок мытый	975*0,7=683	975*0,7=683
Щебень 5–20	975*0,55=536	–
Гравий 5–20	–	975*0,25=244
Добавка	3*88=264	3*88=264
Итого, руб	4513	4161

Обсуждение: почему гравий заслуживает доверия

Скептицизм в отношении использования гравия в бетоне во многом связан с устаревшими представлениями и недостатком практического опыта, тогда как современные исследования показывают, что качество бетона определяется системой в целом, а не только типом заполнителя [14]. Действительно, при неграмотном подборе состава (например, при сохранении одинакового В/Ц для щебня и гравия без учёта различий в водопотребности) бетон на гравии может оказаться менее прочным. Однако современные методы подбора составов, основанные на учёте реологических свойств смеси, позволяют в полной мере использовать преимущества природного гравия.

Ключевыми преимуществами гравия являются:

– более низкая водопотребность, обусловленная гладкой поверхностью и округлой формой зёрен, что снижает внутреннее трение и улучшает подвижность смеси;

– экономическая доступность, особенно в регионах с развитой добычей гравия;

– экологичность – добыча гравия, как правило, менее энергоёмка и менее разрушительна для ландшафта [15] по сравнению с дроблением горных пород.

Конечно, при проектировании особо ответственных конструкций (например, несущих колонн многоэтажных зданий или элементов мостов) может потребоваться дополнительное обоснование применения гравия, включая испытания на долговечность, морозостойкость и водонепроницаемость. Однако для большинства гражданских и промышленных объектов (фундаменты, стяжки, элементы малых форм) бетон на гравии представляет собой технически обоснованное и экономически выгодное решение.

Заключение

1. В ходе эксперимента подтверждено, что при равных условиях подбора состава бетон на гравии обладает меньшей водопотребностью, что позволяет снизить водоцементное отношение и, как следствие, повысить прочность.

2. Бетон на гравии фракции 5–20 мм при В/Ц = 0,67 достиг класса прочности В20, в то время как бетон на гранитном щебне при В/Ц = 0,77 соответствовал классу В15.

3. Экономический анализ показал, что замена щебня на гравий позволяет снизить себестоимость бетона на 5,7 % без потери качества, а в рассматриваемом случае – с его улучшением.

4. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности предвзятого отношения к гравию как к «второсортному» заполнителю. При грамотном инженерном подходе гравий не только конкурентоспособен, но и где-то может даже превосходить щебень.

Таким образом, экспериментальные данные, полученные в результате проведенных исследований (протоколы испытаний инертных материалов и



образцов-кубов:), убедительно демонстрируют потенциал широкого внедрения бетонов на гравии в строительную практику, особенно в регионах с доступными месторождениями этого материала. Это открывает перспективы для повышения рентабельности строительных работ без ущерба для надёжности возводимых конструкций при определенных условиях.

Список литературы

1. Несветаев Г.В. Бетоны. Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. 381 с.

- Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2011. 846 p. DOI: 10.1680/mac.13.00001.
- Ежов В. Б. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. Екатеринбург: УрФУ, 2014. 205 с.
- ГОСТ 31108–2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020. 25 с.
- ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2015. 16 с.
- ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1994. 16 с.
- ГОСТ 23732–2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019. 17 с.
- Баженов Ю.М. Технология бетона: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по строительным специальностям. 5-е изд. Москва: АСВ, 2011. 528 с.
- ГОСТ 10181–2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. Москва: Стандартинформ, 2015. 29 с.
- ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2013. 36 с.
- ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2016. 20 с.
- Звездов А.И., Малинина Л.А., Руденко И.Ф. Технология бетона и железобетона в вопросах и ответах. М.: НИИЖБ, 2005. 446 с.
- Abrams D.A. Design of Concrete Mixtures. Chicago: Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, 1919. 20 p.
- Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. 704 p.
- World Green Building Council. Making Concrete Change: Innovation in Low Carbon Cement and Concrete – London: WorldGBC, 2020. 40 p.

References

- Nesvetaev G.V. Concretes. Rostov-on-Don: Phoenix, 2011, 381p.
- Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2011, 846 p. DOI: 10.1680/mac.13.00001.
- Yezhov V.B. Technology of Concrete, Building Products and Structures. Yekaterinburg: UrFU, 2014, 205 p.
- State Standard 31108–2020. General Purpose Cements. Specifications. Moscow: Standartinform, 2020, 25 p.
- State Standard 8736–2014. Sand for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform, 2015, 16 p.
- State Standard 8267–93. Crushed Stone and Gravel from Dense Rocks for Construction Work. Specifications. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1994, 16 p.

7. State Standard 23732–2011. Water for Concretes and Mortars. Specifications. Moscow: Standartinform, 2019, 17 p.
8. Bazhenov Yu.M. Concrete Technology: textbook for university students studying in construction specialties. 5th ed. Moscow: ASV, 2011, 528 p.
9. State Standard 10181–2014. Concrete Mixtures. Test Methods. Moscow: Standartinform, 2015, 29 p.
10. State Standard 10180–2012. Concretes. Methods for Strength Determination Using Control Specimens. Moscow: Standartinform, 2013, 36 p.
11. State Standard 26633–2015. Heavy and Fine-Grained Concretes. Specifications. Moscow: Standartinform, 2016, 20 p.
12. Zvezdov A.I., Malinina L.A., Rudenko I.F. Technology of Concrete and Reinforced Concrete in Questions and Answers. Moscow: NIIZhB, 2005, 446 p.
13. Abrams D.A. Design of Concrete Mixtures. Chicago: Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, 1919, 20 p.
14. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014, 704 p.
15. World Green Building Council. Making Concrete Change: Innovation in Low Carbon Cement and Concrete. London: WorldGBC, 2020, 40 p.

**Информация об авторах /
Information about the authors**

Дзапаров Марат Эдуардович*, аспирант, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия

e-mail: marat.dzaparov.98@mail.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2174-7512>

Marat E. Dzaparov*, Postgraduate Student, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

e-mail: marat.dzaparov.98@mail.ru.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2174-7512>

Еналдиева Мадина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Начертательная геометрия и геодезия», Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3448-9260>

Madina A. Enaldieva, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Descriptive Geometry and Geodesy, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3448-9260>

Бигулаев Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия

Aleksandr A. Bigulaev, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

Баев Заурбек Аланович, магистрант, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7376-5661>

Zaurbek A. Baev, master's Student, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7376-5661>

**Автор, ответственный за переписку / Corresponding author*