

Научная статья
УДК 666.9.022.2:666.972.12:691.32
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.036

ПРИМЕНЕНИЕ ЩЕБНЯ И ПЕСКА ИЗ ШЛАКА ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «КОЛЬСКАЯ ГМК» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОНОВ

**Татьяна Павловна Белогурова¹, Светлана Валентиновна Бастрыгина²,
Ирина Анатольевна Миханюшина³, Евгений Минбалиевич Салахов⁴, Фадеев Антон Михайлович⁴**

^{1, 2, 3}Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаява
Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

⁴АО «Кольская горно-металлургическая компания», Мончегорск, Россия

¹t.belogurova@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9395-4705>

²s.bastrygina@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3279-8419>

³i.mikhanoshina@ksc.ru

Аннотация

Изучены свойства щебня и песка из отсевов дробления шлака ОАО «Кольская ГМК». Показано, что данные материалы могут быть использованы для строительных и дорожных работ, в том числе в качестве заполнителя бетонов. Разработаны бетоны на основе шлаковых заполнителей с добавкой тонкомолотого шлака. Установлено, что шлакобетон классов В40-В45 с морозостойкостью F₁₃₀₀ и истираемостью G1 может применяться при возведении гражданских и промышленных сооружений, а также в дорожном строительстве.

Ключевые слова:

шлак, щебень, песок, заполнители, свойства, шлакобетон, прочность, морозостойкость

Для цитирования:

Белогурова Т. П., Бастрыгина С. В., Миханюшина И. А. Применение щебня и песка из шлака открытого акционерного общества «Кольская ГМК» для производства бетонов // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 2. С. 211–217. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.036.

Original article

USE OF CRUSHED STONE AND SAND FROM SLAG OF KOLA MMC FOR THE PRODUCTION OF CONCRETE

**Tatiana P. Belogurova¹, Svetlana V. Bastrygina², Irina A. Mikhanoshina³, Evgeny M. Salakhov⁴,
Anton M. Fadeev⁴**

^{1, 2, 3}Tananaev Institute of Chemistry—Subdivision of the Federal Research Centre

“Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia

⁴Kola Mining and Metallurgical Company, Monchegorsk, Russia

¹t.belogurova@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9395-4705>

²s.bastrygina@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3279-8419>

³i.mikhanoshina@ksc.ru

Abstract

The properties of crushed stone and sand from slag crushing sieve of the Kola Mining and Metallurgical Company (Kola MMC) have been studied. It has been shown that these materials can be used for construction and road works, including concrete aggregate. Concretes based on slag aggregates with the addition of finely ground slag have been developed. It was established that slag concrete of classes B40-B45 with frost resistance F₁₃₀₀ and abrasion resistance G1 can be used in the construction of civil and industrial structures, as well as in road construction.

Keywords:

slag, crushed stone, sand, filler, properties, slag concrete, strength, frost resistance

For citation:

Belogurova T. P., Bastrygina S. V., Mikhanoshina I. A. Use of crushed stone and sand from slag of Kola MMC for the production of concrete // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 2. P. 211–217. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.2.036.

Введение

Горнопромышленный комплекс, составляющий основу экономики Мурманской области, представлен предприятиями добывающей, перерабатывающей, горно-химической и металлургической промышленности.

В результате их деятельности в регионе ежегодно складывается более 210 млн т горных отходов, негативно воздействующих на окружающую среду. Одним из крупных металлургических предприятий является ОАО «Кольская ГМК», направляющая в отвал шлаки цветной металлургии, которые представляют собой объемные виды отвальных продуктов, занимающих большие территории.

Утилизация техногенных отходов имеет большое социально-экономическое значение. Важность максимально полезного использования техногенных отходов подтверждается Стратегией развития Арктической зоны РФ, одной из основных задач которой является создание технологической инфраструктуры вовлечения техногенных отходов в производство.

Методика проведения испытаний

Техногенные отходы металлургических производств начали широко использоваться наряду с природными в качестве заполнителей для бетонов еще в начале XX в. [1; 2]. В настоящее время существует большая нормативная база государственных стандартов, содержащая как требования к материалам из шлака черной и цветной металлургии для производства заполнителей, бетонов и изделий, так и методики их испытаний. На основании изучения этих документов было установлено, что физико-механические испытания щебней и песков из шлаков проводят по тем же стандартам, что и природных песков для строительных работ и щебня из плотных горных пород. С учетом выполненного анализа действующих стандартов, методика проведения испытаний и оценка шлака в качестве крупного и мелкого заполнителя для строительных работ основывалась на нормативных документах, приведенных ниже.

Испытания проводили по нормативным требованиям на заполнители из отвального шлака для строительных работ:

ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний»;

ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний»;

ГОСТ 32861-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Определение содержания слабых зерен и примесей металла»;

ГОСТ 8296.1-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа».

Результаты испытаний оценивались в соответствии с требованиями:

ГОСТ 5578-2019 «Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия»;

ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия»;

ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия»;

ГОСТ 3344-83 «Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия».

Результаты исследований щебня и песка из шлака

Основные требования к заполнителям из шлака для бетонов характеризуются следующими показателями: химическим и минеральным составом; устойчивостью структуры; прочностью; истираемостью; водопоглощением; морозостойкостью; зерновым составом; содержанием зерен пластинчатой и игловатой форм; содержанием пылевидных частиц, слабых зерен и примесей металла; объемной насыпной массой и плотностью [3].

Исследованием химического и вещественного состава шлаков методами РФА и минералогического анализа на основе EDS в ИХТРЭМС КНЦ РАН установлено, что основными кристаллическими фазами средней пробы шлака являются фаялит Fe_2SiO_4 , диопсид $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ и магнетит Fe_3O_4 . Химический состав шлака представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав средней пробы шлака

Содержание оксидов, мас. %										
SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	MnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
36,19	0,27	5,12	8,88	33,65	4,07	7,87	0,12	2,79	0,53	0,27

В составе шлаков преобладают оксиды железа, кремния и магния. Относительно низкое содержание в них оксида кальция (4,07 %) позволяет отнести их к категории кислых. Технологический процесс переработки металлургических шлаков для получения щебня состоит из следующих этапов: слив жидких отходов послойно в шлаковые ямы; полив шлаковой массы водой; кристаллизация состава; разработка остывшей массы экскаватором; сортировка шлака на фракции с последующим дроблением.

Для проведения испытаний усредненная проба щебня в виде кускового материала размером до 70 мм подвергалась дроблению на лабораторной щековой дробилке и рассеивалась на фракции 5–10, 10–20 и 20–40 мм. Содержание фракций в лабораторной пробе щебня учитывалось при расчете средневзвешенных значений результатов испытаний.

На основании испытаний щебня фракции 5–40 мм установлено:

1. По зерновому составу проба щебня фракции 5–40 мм соответствует требованиям ГОСТ 5578-2019, п. 4.2.5, табл. 1 и ГОСТ 3344-83, п. 1.2.2, табл. 1 к щебню из шлака для бетонов и дорожного строительства, а также ГОСТ 8267-93, п. 4.2.2, табл. 1 к щебню для строительных работ.

2. В соответствии с ГОСТ 5578-2019, п. 4.2.8, ГОСТ 8267-93, п. 4.4.2, табл. 3, ГОСТ 3344-83, п. 1.2.5, табл. 3 марка по дробимости щебня из шлака в сухом и водонасыщенном состоянии составляет М1000.

3. Содержание зерен слабых пород в щебне составляет 0 %. Согласно ГОСТ 5578-2019, п. 4.2.11, ГОСТ 8267-93, п. 4.5, ГОСТ 3344-83, п. 1.2.7, табл. 5 щебень соответствует нормативным требованиям к щебню М1000 (не более 5 %).

4. Содержание в щебне зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм составляет 0,1 %, что, в соответствии с ГОСТ 5578-2019, п. 4.2.6, табл. 2, ГОСТ 3344-83, п. 1.2.4, ГОСТ 8267-93, п. 4.3.2, позволяет отнести его к 1-й (кубовидной) группе щебня (до 10 %).

5. Истираемость щебня, определенная в полочном барабане с шарами, — 18,4 %, что, в соответствии с ГОСТ 5578-2019, п. 4.2.9, ГОСТ 8267-93 п. 4.4.3, табл. 6, ГОСТ 3344-83, п. 1.2.6, табл. 4, соответствует марке по истираемости И1 (потери массы до 25 %).

6. Наличие в щебне глины в комках не обнаружено, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.6, ГОСТ 3344-83, п. 1.2.3 (не более 0,25 %).

7. Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне составляет 0,6 %, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 5578-2019, п. 4.2.13, ГОСТ 8267-93 п. 4.7.1 (менее 1 % для марки М1000), ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.5, ГОСТ 3344-83, п. 1.2.3 (не более 3 %).

8. По содержанию сульфатов, сульфидов и по потерям при прокаливании щебень из шлака соответствует требованиям ГОСТ 5578-2019:

— содержание сульфатов и сульфидов в щебне в пересчете на SO_3 — 3,63 мас. % (по ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.4 не более 4,5 мас. %);

— потери при прокаливании — 3,35 мас. % (по ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.1 не более 7 мас. %).

9. Потери массы щебня при определении устойчивости его структуры против всех видов распадов составляют 0,8 %, что соответствует требованиям ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.3 (силикатный — не более 5 %, железистый — не более 8 %) и ГОСТ 8267-93 п. 4.8.1 (не более 3 % для М1000).

10. Морозостойкость щебня, определенная ускоренным способом в растворе сульфата натрия, после 15 циклов испытаний составляет 0,5 %, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 5578-2019, п. 4.2.9, ГОСТ 8267-93 п. 4.6.2, табл. 8, ГОСТ 3344-83, п. 1.2.9, табл. 6 (потери массы менее 1 %) и соответствует марке щебня по морозостойкости F400.

11. Реакционная способность щебня, определенная по содержанию в нем реакционноспособного кремнезема, составляет 36,0 ммоль/л, что соответствует требованиям ГОСТ 8269-97, п. 4.22.2 и приложению А ГОСТ 8267-93 (не более 50 ммоль/л) и позволяет считать щебень неакционноспособным по отношению к щелочам.

12. Содержание металлических примесей в щебне из шлака составляет 0,3 %, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 5578-2019, п. 4.2.12, ГОСТ 3344-83, п. 1.2.8 (не более 5 %).

13. Испытания щебня на наличие органических примесей по ГОСТ 8269.0-97, п. 4.14 показали, что раствор гидроксида натрия окрашен светлее эталонного раствора, что свидетельствует об отсутствии в песке органических примесей.

14. Радиационно-гигиеническая оценка щебня из шлака показала, что эффективная удельная активность природных радионуклидов в исследованной пробе составляет 48 ± 8 Бк/кг, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 3344-83, п. 1.5.5 (не выше 370 Бк/кг), ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.9 (до 740 Бк/кг).

15. Водопоглощение щебня из шлака составляет 2,3 %.

16. Насыпная плотность щебня из шлака составляет 1580 кг/м^3 ; пустотность — 47,7 %.

17. Средняя плотность зерен щебня составляет $3,02 \text{ г/см}^3$; пористость — 7,6 %.

18. Истинная плотность зерен щебня $3,27 \text{ г/см}^3$.

Шлаковый песок был получен путем отсева из дробленой пробы щебня фракции 0–5 мм.

На основании испытаний песка из отсевов дробления шлака установлено:

1. Зерновой состав песка определялся путем просеивания песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, на наборе сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и с сетками № 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16.

В соответствии с ГОСТ 8736-2014, п. 4.2.2–4.2.4, ГОСТ 5578-2019, п. 4.3.1, ГОСТ 3344-83, п. 1.3.1 песок относится по модулю крупности (3,01), остатку на сите 0,63 (62,0 %), по содержанию зерен крупностью менее 0,16 мм (12,5 %), св. 10 мм (0 %) и св. 5 мм (0,25 %) к группе крупного песка I класса.

2. Насыпная плотность песка составляет 1600 кг/м^3 ; пустотность — 51,5 %.

3. Истинная плотность зерен песка $3,30 \text{ г/см}^3$.

4. По содержанию пылевидных и глинистых частиц (0,6 %) песок удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-2014, п. 4.2.5 (табл. 4) к крупному песку I класса (менее 2 %).

5. Содержание глины в комках составляет 0 %, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-2014, п. 4.2.5, ГОСТ 5578, п. 4.4.6 для крупного песка I класса (не более 0,25 %).

6. По содержанию сульфатов, сульфидов и по потерям при прокаливании дробленый песок соответствует требованиям ГОСТ 5578-2019:

— содержание сульфатов и сульфидов в песке в пересчете на SO_3 — 3,69 мас. % (по ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.4 не более 4,5 мас. %);

— потери при прокаливании — 4,02 мас. % (по ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.1 не более 7 мас. %).

7. Содержание металлических примесей в песке из шлака составляет 0,8 %, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 5578-2019, п. 4.3.3, 4.4.7; ГОСТ 3344-83, п. 1.3.4 (не более 3 %).

8. Содержание в песке растворимого кремнезема составляет 41,4 ммоль/л и соответствует требованиям ГОСТ 8269-97, п. 4.22.2 и приложению А ГОСТ 8736-2014 (не более 50 ммоль/л), что позволяет считать песок неореакционноспособным по отношению к щелочам.

9. Испытания песка на наличие органических примесей по ГОСТ 8735-88, п. 6 показали, что раствор гидроксида натрия окрашен светлее эталонного раствора, что свидетельствует об отсутствии в песке органических примесей.

10. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в исследованной пробе песка составляет 48 ± 8 Бк/кг, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 3344-83, п. 1.5.5, ГОСТ 5578-2019, п. 4.4.9 (не выше 370 до 740).

На основании проведенных испытаний установлено, что щебень и песок из отсевов дробления отвального магнезиально-железистого шлака ОАО «Кольская ГМК» могут быть использованы для строительных и дорожных работ, в том числе в качестве крупного и мелкого заполнителей бетонов.

Разработка составов бетона на шлаковом заполнителе и исследование его свойств

В настоящее время в строительстве разработаны и применяются разнообразные виды бетонов с применением заполнителей на основе металлургических шлаков [4].

Наши исследования были направлены на получение тяжелых бетонов плотной структуры на крупном шлаковом заполнителе фракций 5–10 мм и 10–20 мм и песке из отсевов дробления металлургического шлака ОАО «Кольская ГМК».

При разработке составов бетонов руководствовались требованиями ГОСТ 27006-2019 «Бетоны. Правила подбора состава» с учетом необходимой плотности, прочности, истираемости и морозостойкости бетонов [5]. Бетонные смеси приготавливались по ГОСТ 10181-2000 «Смеси бетонные. Методы испытаний» и ГОСТ 7473-94 «Смеси бетонные. Технические условия». В работе использовался портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н (ООО «СЛК Цемент», г. Сухой Лог), соответствующий

требованиям ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» и ГОСТ 30515-2013 «Цементы. Общие технические условия». В качестве пластифицирующей добавки применялся суперпластификатор Glenium 51 химического концерна BASF. Для создания плотной упаковки и максимального заполнения пространства заполнителями в состав бетонной смеси вводилась добавка тонкомолотого шлака с удельной поверхностью 300 м²/кг.

Технология бетонов на шлаковых заполнителях имеет специфические требования [6]. В работе был учтен ряд следующих технологических особенностей приготовления бетона. Во-первых, до начала приготовления смеси (примерно за 1 ч) все заполнители увлажнялись путем орошения из пульверизатора частью воды, требуемой по расчету, чтобы улучшить долговечность будущего бетона. Во-вторых, шлакобетон предусматривает более интенсивное перемешивание бетонной смеси, чем обычный бетон. Поэтому перемешивание осуществлялось в лабораторном бетономесителе СБ-142. В-третьих, бетон на шлаке требует применения эффективных способов уплотнения, которое в нашей работе осуществлялось на лабораторной виброплощадке СМЖ-539.ГК с пригрузом. В-четвертых, для шлакобетона назначается более длительный режим тепловой обработки. В наших опытах твердение бетона осуществлялось при нормальных условиях (НТ — температура 20 °С, влажность 80 %) и при тепловлажностной обработке (ТВО) в пропарочной камере КУП-1 по режиму: выдержка после формования — 20 ч, подъем температуры — 4 ч, пропаривание при температуре 85–90 °С — 8 ч, остывание — естественное. В табл. 2 приведены результаты подбора состава бетона на шлаковом заполнителе и прочность бетонов при различных условиях твердения.

Таблица 2

Составы бетонной смеси на шлаковом заполнителе и прочность бетона

№	Состав бетона	Фактический расход материалов, кг/м ³						Плотность б. см., кг/м ³	Прочность бетона, МПа			
									после ТВО		после НТ	
		Ц	Щ	П	В	Д	Гл		7 сут	28 сут	7 сут	28 сут
1	БШ	450	1200	500	210	—	—	2360	40,2	51,5	38,6	44,8
2	БШ-Гл	435	1200	500	200	—	2,2	2350	42,8	54,1	41,2	51,1
3	БШ-Гл-5	440	1200	500	210	22	2,2	2370	45,6	54,3	40,9	52,5
4	БШ-Гл-10	450	1200	500	215	45	2,3	2410	49,7	58,5	43,7	55,2
5	БШ-Гл-15	460	1200	500	220	70	2,3	2450	38,8	46,4	35,5	42,3

Примечание. БШ — бетон на шлаке без добавок; БШ-Гл — бетон на шлаке с добавкой «Глениум-51»; БШ-Гл-5 — бетон на шлаке с добавкой «Глениум-51» и 5 % молотого шлака; БШ-Гл-10 — бетон на шлаке с добавкой «Глениум-51» и 10 % молотого шлака; БШ-Гл-15 — бетон на шлаке с добавкой «Глениум-51» и 15 % молотого шлака.

На основании проведенного подбора составов установлено, что наилучшими свойствами обладает бетонная смесь состава № 4, содержащая 10 % тонкомолотой добавки и 0,5 % суперпластификатора. Результаты прочностных испытаний показали, что прочность образцов шлакобетона всех составов при нормальном твердении уже к 7 сут твердения составляет 35,5–43,7 МПа (соответствует классам бетона В25-В30), а твердевших при пропарке — 38,8–49,7 МПа (соответствует классам бетона В30-В35). При дальнейшем твердении в течение 28 сут образцы нормального твердения достигли классов бетона В30-В40, пропаренные — В35-В45. Более высокие прочностные результаты получены у образцов шлакобетона при тепловой обработке. Наибольшей прочностью обладает шлакобетон с добавкой 10 % молотого шлака, который показал лучшие результаты при всех сроках твердения в любых условиях. Этот состав был выбран для дальнейших испытаний шлакобетона на морозостойкость и истираемость.

Испытание образцов тяжелого бетона на морозостойкость проводилось по ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» по ускоренному методу при многократном замораживании и оттаивании в растворе хлористого натрия на соответствие его марке по морозостойкости F₁₃₀₀. Испытаниям подвергались 24 образца-куба размером 10 × 10 × 10 см состава № 4 (БШ-Гл-10) в возрасте 28 сут, прошедшие тепловлажностную обработку. Прочность образцов определяли по ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» в водонасыщенном состоянии до испытаний (контрольные образцы) и через 30, 45 и 75 циклов замораживания

и оттаивания (основные образцы). Морозостойкость оценивалась по потере прочности при сжатии (%) контрольных и основных образцов через заданное количество циклов. Значения прочности образцов и потери (приrost, %) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний на морозостойкость шлакобетона с добавкой молотого шлака (БШ-ГЛ-10)

Номер образца в серии	Прочность образцов бетона, МПа			
	контрольных	основных		
		после 30 циклов	после 45 циклов	после 75 циклов
1	61,8	62,1	63,2	60,8
2	56,6	60,3	60,1	57,3
3	62,2	62,7	62,1	61,2
4	59,3	59,9	60,8	59,6
5	55,9	57,2	61,4	56,7
6	57,5	63,1	62,7	58,5
Среднее в серии	58,9	60,9	61,7	59,0
Снижение (-), приrost (+) прочности, %	0	+3,40	+4,75	+0,17

Результаты испытаний показали, что после 30, 45 и 75 циклов промежуточных испытаний у образцов фиксируется приrost прочности. Наибольший приrost прочности наблюдается у образцов бетона после 45 циклов испытаний. После 75 циклов замораживания-оттаивания в растворе хлористого натрия у образцов бетона также продолжается рост прочности по сравнению с контрольными образцами, но немного медленнее. Снижение прочности не наблюдается.

По результатам статистической обработки бетон состава БШ-10 с добавкой 10 % тонкомолотого шлака соответствует марке по морозостойкости F₁₃₀₀. Это свидетельствует о том, что в структуре бетона после воздействия попеременного замораживания-оттаивания в растворе соли не происходит заметных деструктивных явлений, отражающихся на его прочности. В бетоне с добавкой тонкомолотого шлака наблюдается активный рост новообразований на поверхности цементных зерен с заполнением межзернового пространства продуктами гидратации и формированием плотной структуры цементного камня с уменьшением размера и объема пор [7]. Поэтому бетон с тонкомолотой добавкой обладает повышенной плотностью и низкой проницаемостью, что обеспечивает его высокую морозостойкость.

Для определения истираемости из образцов-кубов состава БШ-ГЛ-10 размером 100 × 100 × 100 мм были изготовлены образцы-кубы размером 70 × 70 × 70 мм в количестве 4 шт. и испытаны на круге истирания ЛКИ-3 по ГОСТ 13087-2018 «Бетоны. Методы определения истираемости». В результате испытаний среднее значение потери массы образцов составило 0,41 г/см², что соответствует марке по истираемости G1 (менее 0,7 г/см²).

Согласно ГОСТ 13015-2012 «Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования», п. 5.6.11 данный бетон можно использовать в изделиях для конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения (плиты дорожных и аэродромных покрытий, плиты тротуаров на магистральных проездах и т. п.).

Заключение

На основании проведенных испытаний установлено, что щебень и песок из отсевов дробления шлака ОАО «Кольская ГМК» могут быть использованы для строительных и дорожных работ, в том числе в качестве заполнителя бетонов.

Испытания бетона на шлаковых заполнителях показали, что бетон плотностью 2410 кг/м³ с добавкой 10 % тонкомолотого шлака по прочности соответствует классам бетона В40-В45, по морозостойкости — марке F₁₃₀₀, по истираемости — марке G1. Шлакобетон может применяться при возведении гражданских и промышленных сооружений, а также в дорожном строительстве.

Результаты исследований свидетельствуют о возможности и перспективности использования отвального магнезиально-железистого шлака ОАО «Кольская ГМК» в производстве бетонов, что позволит приостановить рост шлаковых отвалов и расширить ресурсный потенциал нерудных строительных материалов Арктической зоны России.

Список источников

1. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве / В. С. Горшков, С. Е. Александров, С. И. Иващенко, И. В. Горшкова. М.: Стройиздат, 1985. 272 с.
2. Пименов А. Т. Прибылов В. С. Вовлечение отходов черной металлургии в производство строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 4 (748). С. 114–120.
3. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. 368 с. (Серия: Строительство).
4. Литой щебень из доменных шлаков и бетоны на его основе / С. Е. Александров, В. А. Здоренко, И. В. Колпаков, П. А. Кривилев. М.: Стройиздат, 1979. 208 с.
5. Гатылюк А. Г., Грызлов В. С. Определение оптимального состава мелкозернистого шлакобетона на отходах металлургического производства // Вестник Череповецкого государственного университета. № 2–1 (47). Череповец: ФГБОУ ВПО «ЧГУ», 2013. С. 9–11.
6. Федьнин Н. И., Диамант М. И. Высокопрочный мелкозернистый шлакобетон. М.: Стройиздат, 1975. 177 с. (Серия: Наука — строительному производству).
7. Виноградов Б. Н., Гребник Е. А., Гладких К. В. Процессы твердения вяжущих из доменных гранулированных шлаков при водотермальной обработке // Строительные материалы. 1963. № 4. С. 24–28.

References

1. Gorshkov B. C., Aleksandrov S. E., Ivashchenko S. I., Gorshkova I. V. *Kompleksnaya pererabotka i ispol'zovanie metallurgicheskikh shlakov v stroitel'stve* [Complex processing and use of metallurgical slags in construction]. Moscow, Strojizdat, 1985, 272 p. (In Russ.).
2. Pimenov A. T., Pribylov V. S. Vovlechenie othodov chernoj metallurgii v proizvodstvo stroitel'nykh materialov [Involvement of ferrous metallurgy waste in the production of building materials]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo* [Bulletin of higher educational institutions. Construction], 2021, No 4 (748), pp. 114–120. (In Russ.).
3. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. *Stroitel'nye materialy iz othodov promyshlennosti. Seriya: Stroitel'stvo* [Construction Materials from Industrial Waste. Series: Building]. Rostov-na-Donu, Feniks, 2007, 368 p. (In Russ.).
4. Aleksandrov S. E., Zdorenko V. A., Kolpakov I. V., Krivilev P. A. *Litoj shcheben' iz domennykh shlakov i betony na ego osnove* [Cast crushed stone from blast furnace slag and concretes based on it]. Moscow, Strojizdat, 1979, 208 p. (In Russ.).
5. Gatylyuk A. G., Gryzlov V. S. Opredelenie optimal'nogo sostava melkozernistogo shlakobetona na othodakh metallurgicheskogo proizvodstva [Determination of the optimal composition of fine-grained slag concrete on metallurgical production waste]. *Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Cherepovets State University], 2013, No 2–1 (47), pp. 9–11. (In Russ.).
6. Fedynin N. I., Diamant M. I. *Vysokoprochnyj melkozernistyj shlakobeton. Seriya: Nauka—stroitel'nomu proizvodstvu* [High-strength fine-grained slag concrete. Series: Science—Construction Industry]. Moscow, Strojizdat, 1975, 177 p. (In Russ.).
7. Vinogradov B. N., Grebnik E. A., Gladkih K. V. Processy tverdeniya vyazhushchih iz domennykh granulirovannykh shlakov pri vodotermal'noj obrabotke [Hardening processes of binders from blast furnace granulated slags during hydrothermal treatment]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 1963, No 4, pp. 24–28. (In Russ.).

Информация об авторах

Т. П. Белогурова — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
С. В. Бастрыгина — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
И. А. Михановина — ведущий инженер.
Е. М. Салахов — главный менеджер управления экологической безопасности.

Information about the authors

T. P. Belogurova — PhD (Engineering), Senior Researcher;
S. V. Bastrygina — PhD (Engineering), Senior Researcher;
I. A. Mikhanoshina — Lead Engineer.
E. M. Salakhov — Chief Manager of the Environmental Safety Department.

Статья поступила в редакцию 27.05.2025; одобрена после рецензирования 17.06.2025; принята к публикации 01.07.2025.
The article was submitted 27.05.2025; approved after reviewing 17.06.2025; accepted for publication 01.07.2025.