

2. Иванников, С.Н., Манаенков И.В. Параметрическая надежность технологического оборудования/ Евразийский союз ученых. 2016. № 4-2 (25). С. 57-58.
3. Шендерович, М. М., Красюк, В. И. (2013). Международные стандарты надежности в системах электроснабжения. Мехатроника, автоматизация, управление, (2), 48-54.
4. Иванников, С.Н., Манаенков И.В. Выходные параметры для оценки параметрической надежности технологического оборудования / Учебное пособие / Москва, 2018.

**Синьлэй Тянь, Екатерина Герасимова**

**Xinlei Tian, Ekaterina Gerasimova**

## ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО ДОМЕННОГО ШЛАКА ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ 8267-93

### EVALUATION OF GRANULATED BLAST FURNACE SLAG FOR COMPLIANCE WITH THE REQUIREMENTS OF GOST 8267-93

Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg

Побочным продуктом стремительно развивающейся промышленности и строительной отрасли являются промышленные отходы. С точки зрения их переработки, а также защиты окружающей среды, экологически чистый бетонный материал является необходимым условием развития отрасли строительных материалов. Объектом данного исследования является высокопрочный безобжиговый заполнитель на основе гранулированного доменного шлака, использование которого вместо традиционных инертных материалов – гравия и щебня позволит существенно снизить затраты, а также обеспечить защиту окружающей среды. Основной задачей исследования является оценки возможности использования данного материала для целей производства ответственных строительных работ – соответствия его характеристикам ГОСТ 8267-93.

Industrial waste is a by-product of the rapidly developing industry and the construction industry. From the point of view of their processing, as well as environmental protection, environmentally friendly concrete material is a prerequisite for the development of the construction materials industry. The object of this study is a high-strength non-firing aggregate based on granular blast furnace slag, the use of which instead of traditional inert materials - gravel

---

Тянь Синьлэй – студент магистратуры  
Герасимова Е. – старший преподаватель

and crushed stone will significantly reduce costs, as well as ensure environmental protection. The main objective of the study is to assess the possibility of using this material for the purposes of responsible construction work – compliance with its characteristics GOST 8267-93.

**Ключевые слова:** безогневые гранулы, эксикаторы, механические свойства, шлак, стальной шлак

**Keywords:** No-burn pellets, excitors, mechanical properties, slag, steel slag

**Введение.** Промышленность строительных материалов очень зависит от поставок сырья, характеристиками которого являются ресурсы и энергия. Снижение потерь ресурсов и энергии, повышение эффективности их использование, разработка более функциональных, энергоэффективных и экологических строительных материалов с более длительным сроком службы – основная задача развития отрасли. Изделия, изготовленные на основе легких заполнителей отличаются меньшей массой, относительно лучшими механическими свойствами, чем изделия, произведенные из плотных тяжелых заполнителях. Изделия из легких заполнителей можно также использовать для теплоизоляции, теплозащиты и огнестойкости. Они устойчивы к землетрясениям и обладают другими преимуществами. По этой причине этот высококачественный материал часто используется при строительстве зданий с высокой этажностью и большими пролетами, а также при возведении защитных ограждений. Этот частицы, изготовленный из легких заполнителей, является качественным материалом, который можно использовать для строительства экологически чистых зданий [3].

Одним из наиболее распространенных видов легких заполнителей являются гранулированные, которые имеют широкий спектр применения в строительном секторе.

Гранулированный доменный шлак представляет собой круглый, искусственный легкий заполнитель, изготовленный из различных активных твердых отходов, цементирующих материалов, добавок и других вспомогательных материалов, произведенный машинами и затем поддерживаемый естественным путем (или с помощью солнца, пара или автоклавного обслуживания). Он имеет стеклообразный вид, без блеска, твердый и шероховатый, с пористой внутренней поверхностью. Обычно он имеет серо-черный или зеленовато-серый цвет [2].

Основным сырьем для производства подобного типа безобжиговых легких заполнителей являются твердые промышленные отходы, которые не требуют высокотемпературного обжига и могут быть использованы непосредственно после естественного отверждения – доменный шлак. Меньшее количество энергии, необходимое для производства любых видов необожженных заполнителей (в том числе гранулированного

доменного шлака), и простота технологии по сравнению с традиционными обожженными заполнителями, требующими высокотемпературного обжига, являются основными преимуществами, и это новый строительный материал, который заменяет первоначальный гравий.

Несмотря на кажущуюся примитивность изготовления заполнителя и унифицированный исходный базовый продукт для изготовления гранулированного доменного шлака, существует несколько типов данного материала, которые могут быть сгруппированы на основе следующих классификационных признаков:

1. Прочность:

- Высокопрочные заполнители – это легкие и крупные заполнители для конструкционного использования со шкалой прочности не менее 25 МПа. Их технические требования помимо марки плотности, предела прочности при сжатии цилиндра, марки прочности, коэффициента водопоглощения имеют конкретные показатели. Производство высокопрочных заполнителей имеет более низкую производительность, более высокое энергопотребление, более высокую добавленную стоимость и цену реализации примерно на 50% выше, чем производство сверхлегких и обычных заполнителей.

- Заполнители обычной прочности – это легкие крупные заполнители для конструкционного использования со шкалой прочности менее 25 МПа. Заполнители обычной прочности широко используются и имеют большой рыночный потенциал.

2. Плотность:

- Заполнители общей плотности - это заполнитель с плотностью более 500 кг/м<sup>3</sup>. Его прочность, как правило, относительно высока и используется в основном для структурного изоляционного бетона или высокопрочного бетона.

- Заполнители очень малой плотности обычно определяются как заполнители плотностью от 300 до 500 кг/м<sup>3</sup>. Этот заполнитель обычно используется для изоляционного и теплоизоляционного бетона и изделий из него.

- Заполнитель сверхмалой плотности - это заполнитель плотностью менее 300 кг/м<sup>3</sup>. Он обладает отличными теплоизоляционными свойствами, но менее прочен. Обычно используется для производства сверхлегкого изоляционного бетона и изделий из него.

Далее охарактеризуем базовые ингредиенты гранулированного доменного шлака.

Доменный шлак является побочным продуктом при выплавке чугуна. В процессе производства пустая порода руды плавится вместе с флюсами шихты и золой применяемого горючего, в результате образуется шлак, который сливается и резко охлаждается. Он представляет собой гранулы разного размера и формы [4].

Доменные шлаки – это сплавы (твердые растворы) силикатов, алюминатов, сульфидов и некоторых солей, особенно фосфатов, различных оснований, в основном кальция, магния, железа, марганца. Получаясь в восстановительном пламени, доменные шлаки содержат свободные окислы кальция, железа и марганца, растворенные, по Джексу (Jex), в смеси анортита (известковый полевой шпат)  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  и волластонита  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . При правильно ведущемся доменном процессе цвет шлаков – светлый («спелые шлаки»): светло-серый, белый, желтоватый, зеленоватый, синеватый и т. д., а при сыром ходе доменной печи – черный, от большого содержания железа. Текстура шлаков тоже изменчива и бывает стекловидной, камневидной и фарфоровидной, в зависимости от состава и быстроты затвердевания доменных шлаков [1].

Поскольку в состав шлака входят указанные выше соединения, он обладает определенной способностью к гидратации, а также к твердению, поэтому введение шлака в сырьевую смесь для получения заполнителя может повысить механическую прочность этого материала.

К числу основных характеристик безобожженного заполнителя из доменного шлака относятся:

1. Высокая прочность – особенно подходит для обычного гравия и высокопрочного гравия, используя различные связующие материалы, количество отработанного активатора, разумную рецептуру и процесс обслуживания, может производить высокопрочный необожженный гравий и может быть отрегулирована произвольно прочность.

2. Высокий коэффициент размягчения – необожженный гравий имеет высокий коэффициент размягчения, который обычно превышает 0,8, а высокопрочный гравий - более 0,9, что превышает национальные нормы прочности для гравия. В этом отношении он не уступает гравию для обжига.

3. Высокий уровень водопоглощения – высокое водопоглощение требует технической обработки: материал, произведенный по традиционной технологии, имеет больше капилляров из-за испарения воды и поэтому имеет немного более высокую степень водопоглощения, чем обожженный гравий, обычно более 15%. Для снижения уровня водопоглощения до менее 15% необходимо использовать техническую обработку или специальные составы.

4. Относительно высокая насыпная плотность – из-за своей более высокой насыпной плотности из-за использования большого количества более плотных твердых отходов данный тип заполнителя не подходит для производства сверхлегких керамических гранул [5].

Таким образом, гранулированный доменный шлак по своим физико-химическим характеристикам может быть использован в качестве заполнителя при производстве бетонов и бетонных растворов. Тем не менее для регламентированного его использования в качестве альтернативы природному гравия необходимо его соответствие характеристикам, указанным в ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ».

Тогда целью работы является исследование образцов гранулированного доменного шлака на выявление степени их соответствия требованиям и характеристикам государственного стандарта, регламентирующего качество природных бетонных заполнителей.

**Результаты.** Представим результаты сравнения в таблице.

Таблица

Сравнение характеристик природного гравия и гранулированного доменного шлака

	Гравий	Гранулированный доменный шлак
Состав	Массовая доля крупного гравия не должна превышать 8%.	Минимальное требование к массовому коэффициенту (К) составляет 1,2. Массовая доля диоксида титана не должна превышать 2,0%. Массовая доля оксида марганца не должна превышать 2,06%. Минимальное требование к массовой доле стекловидного тела - 70%.
Требования к радиоактивности	Требования к радиоактивности определяются в каждом конкретном случае, при этом концентрация естественных радионуклидов должна находиться в пределах, указанных в стандарте.	Требования к радиоактивности - в соответствии со специальными нормами радиоактивности.

Итак, гранулированный доменный шлак требует высокой массовой доли стекловидного вещества. Гранулированный доменный шлак обладает большей активностью, что важно при производстве бетонных смесей.

В стандарте на щебень не упоминаются требования по радиоактивности, тогда как гранулированный доменный шлак должен соответствовать нормам по радиоактивности и больше подходит для применения в тех случаях, когда необходимо учитывать радиационную опасность, возможно, заменяя в некоторых случаях использование цемента, и поэтому может быть использован как экологически чистый альтернативный материал.

К гранулированному доменному шлаку предъявляются требования по массовой доле диоксида титана и оксида марганца, однако эти требования относительно смягчены, что позволяет использовать более широкий спектр шлаков. В отличие от них к щебню не предъявляются такие специфические требования по химическому составу.

Основной областью применения гранулированного доменного шлака является его добавление в бетон в качестве реакционной смеси, которая имеет широкий спектр применения в строительной промышленности. Гравий используется в основном для дорожных и земляных работ и имеет относительно узкую область применения.

**Заключение.** Таким образом, гранулированный доменный шлак возможно использовать в строительных работах в качестве бетонных заполнителей, однако, осуществленные измерения в настоящее время не могут свидетельствовать о возможности его применения в ответственных строительных работах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Siddika A, Mamun M A A, Alyousef R, Amran Y H M, Aslani F, and Alabduljabbar H 2019 Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review, *Construction and Building Materials* 224 711-731
2. Lazik P R and Garrecht H 2021 Wood ashes from electrostatic filter as a replacement for the fly ashes in concrete, *Journal of Construction Materials* 2 2-6
3. Andrew R M 2020 A comparison of estimates of global carbon dioxide emissions from fossil carbon sources, *Earth System Science Data* 12 1437-1465
4. Pierre F, Michael O, Matthew W J, Robbie M A, and other. Global carbon budget 2020, *Earth System Science Data* 2020. 12. 3269-3340
5. Statistics A B S Australia Bureau of Statistics 2019-2020