

УДК 691.32

Т. А. Голова^а, И. А. Магеррамова^б

^а *Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина*

^б *Балаковский инженерно-технологический институт — филиал НИЯУ МИФИ*

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ В ИЗГОТОВЛЕНИИ БЕТОНОВ

Рассмотрено применение шлаковых отходов различных фракций для разработки новых составов бетонов. Исследование направлено на решение актуального вопроса утилизации отходов металлургических производств в рамках стратегии по применению безотходных технологий. Разработаны экспериментальные смеси на основе местных материалов с использованием шлаковых отходов металлургической промышленности на примере Саратовской области. Рассмотрено изменение прочности и плотности смесей при введении шлаковых отходов с разных предприятий металлургической промышленности. Получены значения прочности и плотности бетонов с применением отходов промышленности. Предложен комплексный подход при замене части традиционных заполнителей на шлаковые отходы. По результатам работы применение шлаковых заполнителей в бетонах привело к повышению прочности от 16 до 54 % в зависимости от состава и количества шлаковых отходов. Авторы делают вывод, что комплексное использование мелких и крупных заполнителей на основе отходов производств способствует не только повышению прочности бетонных смесей, но и решению вопроса ресурсосбережения региона в рамках стратегии развития РФ.

Ключевые слова: шлаковые отходы металлургии, бетонные смеси, прочность бетона, плотность бетона.

Введение

В металлургической промышленности образование твердых отходов происходит постоянно, что подтверждается данными Росстата. В этом экономическом секторе их количество составило от 168,3 до 180,4 млн т. Использование и обезвреживание отходов в металлургической промышленности характеризуется уровнем в 47,06 % от общего объема¹. Одним из направлений утилизации отходов традиционно продолжает выступать производство строительных материалов [1—9]. Одними из самых распространенных отходов металлургических производств является шлаки. Из металлургических шлаков получают гранулированный шлак, щебень, шлакопортландцемент. Новые виды металлургического производства применяют, как правило, сталеплавильную технологическую схему на предприятиях. Шлаковый щебень и песок из него получают из литого или отвального щебня [1—4, 10, 11]. Наибольшее применение шлаковые отходы нашли в дорожном строительстве, однако вопрос применения их для производства строительных элементов остается открытым. На примере Поволжья представлены как шлаковые отходы

¹ Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf>.

Государственная программа Саратовской области «Охрана окружающей среды, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов Саратовской области» (02.05.2023 № 382-П, 04.07.2023 № 612-П, 09.10.2023 № 920-П). URL: <https://docs.cntd.ru/document/467701345>.

в виде крупного заполнителя, так и отходы по типу шлакового песка. Комплексное использование отходов в виде крупных и мелких заполнителей может привести к значительной экономии ресурсов для изготовления бетонных смесей и бетонов, что актуально для сферы строительства.

Материалы и методы

Непосредственное получение шлакового щебня на электросталеплавильном производстве связано с применением технологий переработки электропечного шлака. В настоящее время одним из наиболее распространенных способов выступает охлаждение шлака в жидком виде в установках барабанного типа. Суть способа состоит в том, что расплав из электросталеплавильной печи подается на вращающийся барабан. Расплав соприкасается с поверхностью барабана, охлаждается и дробится на гранулы, которые падают на площадку или в бассейн с водой. В технологическом процессе возможно введение дополнительно грохота, дробилок для получения фракционированного щебня.

Характеристики шлакового щебня и их сопоставление с характеристиками гранитного щебня представлены в табл. 1 [1—4, 10].

Т а б л и ц а 1

Сравнительные характеристики щебней

Наименование показателя щебня	Вид заполнителя	
	Шлаковый	Гранитный
Марка по прочности	300, 600, 800, 1000, 1200	600, 800, 1200, 1400
Предел прочности на сжатие, МПа	60...100	20...120
Марка по морозостойкости	F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300	F15, F25, F50, F100, F150, F200, F300, F400
Марка по истираемости	И1, И2, И3, И4, И5	И1, И2, И3, И4
Крупность зерен, мм	5...10, 10...20, 20...40, 40...70, 70...120	5...10, 10...15, 10...20, 15...20, 20...40, 40...70
Истинная плотность, кг/м ³	2900...3000	2600...3000
Насыпная плотность щебня, кг/м ³	1200...1500	1200...1500
Водопоглощение, % масс	1...5	1...5

Из анализа табл. 1 можно сделать вывод, что шлаковый щебень сталеплавильного производства обладает классификационными и физико-механическими характеристиками как у гранитного щебня. Свойства шлака связаны с технологией его получения. Химический состав электросталеплавильного шлака может быть неустойчивым [10], что обусловлено элементами, добавляемыми в шихту для придания стали свойств по назначению. Кроме того, переработка шлака может носить первичный и вторичный характер. При первичной обработке шлак образуется как побочный продукт в процессе электросталеплавильного процесса. При вторичной обработке выход шлака связан с доизвлечением из первичной шихты ценных компонентов.

Саратовская область является развитым промышленным регионом страны. Промышленным узлом в Саратовской области является г. Балаково, где расположены крупные металлургические предприятия — АО «МЗ Балаково»

и АО «БЦЛ». Отходами этих предприятий является шлаковый щебень и регенерат (песок-шлак). Авторами предложено комплексное использование отходов этих предприятий для разработки тяжелых бетонов повышенной прочности.

Химический состав электросталеплавильного шлака завода АО «МЗ Балаково» представлен в табл. 2².

Т а б л и ц а 2

Химический состав шлака

Объект	Наименование показателя, % масс*								
	CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	S	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe _{мет}
Шлаковый песок	45,5	23,5	7,7	14,7	1,31	0,76	0,08	8,7	3,2
Шлак УВОС	48,0	24,4	5,7	13,4	1,01	0,82	0,061	8,9	9,3

*Данные на 2019 г.

Из анализа табл. 2 следует, что наибольшую часть в электросталеплавильных шлаках составляют CaO и SiO₂. Данные компоненты выступают необходимыми элементами при формировании цементного геля или бетонного камня. Кроме того, для оценки качества шлака в первом приближении рассматривается модуль основности CaO/SiO₂ (при CaO/SiO₂ < 1,5 — низкоосновные шлаки, CaO/SiO₂ = 1,6...2,5 — среднеосновные, CaO/SiO₂ > 2,5 — высокоосновные). При большой концентрации Al₂O₃ и P₂O₅ основность шлака снижается.

Для особо тяжелых, тяжелых и мелкозернистых бетонов применяют, аналогично со строительством дорог, плотный сталеплавильный шлаковый щебень и отсев или продукт его переработки — песок, в сочетании с обычными или шлаковыми вяжущими [9, 12]. При формировании тяжелых бетонов возможен широкий спектр бетонов по классам по прочности на сжатие. Так, из щебня разных марок возможно получение бетонов следующих классов: М600 — до В12,5; М800 — до В20; М1000 — до В25; М1200 — до В30 и выше. Таким образом, шлаковый щебень можно применять при изготовлении фундаментов, колонн с обеспечением класса бетона В15...В25, балок и плит покрытия (В25...В35), ригелей (В35...В40).

Применение шлакового щебня в сборных конструкциях обуславливается также его деформационными свойствами, сцеплением с арматурой, аналогичными обычному гранитному щебню. Кроме того, прочность шлакобетона на растяжение и изгиб выше, чем для бетона на обычном гранитном щебне.

При использовании шлаковых вяжущих большое влияние на формирование прочности бетонов оказывает технология их приготовления. При повышении температуры возрастает интенсивность твердения и набор прочности бетоном. При изготовлении железобетонных изделий, пропариваемых в камере, эффективность набора прочности бетоном наблюдается при температуре 100 °С и выше. Автоклавные изделия изготавливают в автоклавах при температуре 174...190 °С и давлении 0,8...1,2 МПа. При термической обра-

² ТУ 08.12.13.000-002-82663090—2019. Песок шлаковый фракции 0—10 мм. Технические условия. Балаково : АО Металлургический Завод Балаково, 2019. 6 с.

ботке достигается прочность 10...30 МПа (при пропаривании), 30...60 МПа (при автоклавной технологии).

Наиболее широко реализуемое направление применения шлакового щебня — дорожное строительство [1—4, 9, 10]. В зависимости от требований к материалу нефракционированный щебень используют в подстилающих слоях как водостойкий и морозостойкий материал, в верхних — фракционированный, как легко укатываемый катками при формировании покрытия. Щебень обладает повышенной износостойкостью, при его применении покрытие дорожного полотна обладает шероховатостью, а его прочность в целом выше, чем прочность полотна с применением гранитного щебня. Данные параметры позволяют использовать щебень и как заполнитель для бетонов.

Существующий опыт применения сталеплавильного шлака указывает на возможность его использования в качестве крупного заполнителя при разработке бетонных смесей и бетонов, а также на положительное влияние на увеличение их прочности.

Для комплексного подхода к применению шлаковых отходов необходимо рассмотреть возможность замены мелкого заполнителя на песок-шлак. К такому заполнителю на территории Балаково можно отнести регенерат (песок-шлак), отходы производства завода АО «Балаково-Центролит». Химический состав регенерата представлен на рис. 1.

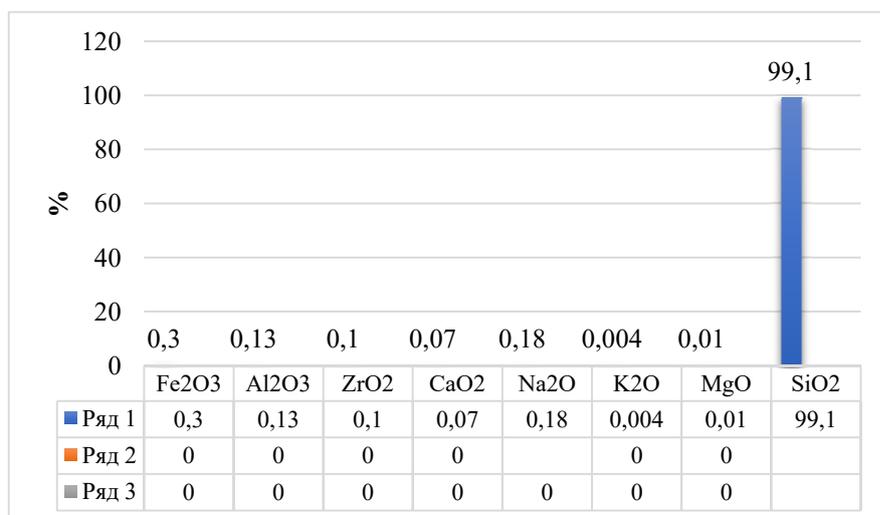


Рис. 1. Химический состав регенерата

Регенерат в своем составе имеет SiO₂ и близок по химическим свойствам к микрокремнеземистым материалам. Авторами установлено, что добавление его в бетонную смесь в количестве не более 45 % от массы цемента привело к сокращению сроков схватывания в 1,5 раза.

Согласно испытаниям регенерата³, данный вид заполнителя по $M_{кр} = 0,63...0,8$ относится к очень тонким пескам.

³ ГОСТ 8735—88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
 URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003348>.

Технологические характеристики регенерата:

модуль крупности — 0,63 (очень тонкий);

истинная плотность — 2654 кг/м³;

насыпная плотность — 1800 кг/м³;

влажность — 1 %;

определение глины в комках — нет.

В целом бетонные смеси на шлаковом крупном и мелком заполнителе обладают повышенной водопотребностью, имеют меньшую подвижность и большую жесткость, чем аналогичные составы на гранитном щебне [9, 11].

Экспериментальные исследования

Для применения комплексного подхода и обоснования использования вышеуказанных отходов проведены экспериментальные исследования по определению качественного состава на основе сравнительных составов в сертифицированной лаборатории «Эксплуатационная надежность строительных материалов и конструкций» кафедры промышленного и гражданского строительства Балаковского инженерно-технологического института — филиала ФГАОУ ВО НИЯУ МИФИ в соответствии с требованиями нормативных документов. Изначально определены варьируемые факторы составов бетона и выделенных доминирующих отходов, которые могут оказать влияние на технические характеристики бетона⁴. Также проведено сравнительное исследование полученных значений физико-механических характеристик бетонов с различным заполнителем и стоимостная оценка таких конструкций [1—4, 10].

Составы бетонов предварительно определяли расчетом [12], за контрольный состав принят бетон класс В20 с подвижностью бетонной смеси по осадке конуса 4...5 см. Для расчета приняты следующие материалы:

- цемент марки М400 активностью 375 кгс/см²;
- кварцевый песок средней крупности с водопотребностью 7 % с плотностью частиц 2,63 кг/л;
- гранитный щебень марки 1200 с плотностью частиц 2,6 кг/л и средней плотностью 1,48 кг/л;
- шлаковый песок (регенерат) очень тонкий, с плотностью частиц 2,6 кг/л;
- шлаковый щебень с плотностью частиц 3 кг/л и средней плотностью 1,6 кг/л.

Введены обозначения для экспериментальных смесей:

1. Портландцемент (Ц), кварцевый песок (П_{кв}), гранитный щебень (Щ_{гр}), вода (В).

2. Портландцемент (Ц), кварцевый песок (П_{кв}), шлаковый песок (ШП), гранитный щебень (Щ_{гр}), вода (В).

3. Портландцемент (Ц), кварцевый песок (П_{кв}), гранитный щебень (Щ_{гр}), шлаковый щебень (ШЩ), вода (В).

⁴ ГОСТ 8267—93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000314>.

ГОСТ 3344—83. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901704812>.

ГОСТ 8735—88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003348>.

ГОСТ 5578—2019. Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/9467/>.

4. Портландцемент (Ц), кварцевый песок ($P_{кв}$), шлаковый песок (ШП), гранитный щебень ($Щ_{гр}$) шлаковый щебень (ШЩ), вода (В).

Для исследования рассчитаны 4 состава, 1-й — контрольный. При определении составов 2—4 в качестве факторов приняты соотношения мелких и крупных заполнителей при их постоянном количестве. Шаг варьирования факторов принят 30 %. В количественном выражении шаг варьирования факторов эксперимента для заполнителей составил: для песка 1090 г (0,3-П), для щебня 1330 г (0,3-Щ). В процессе проведения экспериментальных исследований, принято решение о снижении общего количества щебня на 600 г в 3 составах.

При замешивании контрольного состава первоначальный состав 1 был рассчитан в отношении Ц/П/Щ = 1 : 2,6 : 3,7 при В/Ц = 0,54.

Важным фактором при поведении экспериментальных исследований было сохранение значения В/Ц в пределах 0,5...0,64, учитывая возможность повышенного использования воды при применении шлаковых отходов.

На основе контрольного состава, принятого шага варьирования факторов и проведенных экспериментальных исследований получены следующие составы (Ц/П/Щ при В/Ц), содержащие ШП (песок шлаковый — регенерат) и ШЩ (шлаковый щебень):

Состав 1 — контрольный, В/Ц = 0,54 : 1/2,6/3,2.

Состав 2 — содержание ШП/ $P_{кв}$ = 30 %/70 %, В/Ц = 0,6 : 1/2,6/3,2.

Состав 3 — содержание ШЩ/ $Щ_{гр}$ = 30 %/70 %, В/Ц = 0,64 : 1/2,6/3,2.

Состав 4 — содержание ШП/ $P_{кв}$ = 60 %/40 %, ШЩ/ $Щ_{гр}$ = 57 %/43 %, В/Ц = 0,6 : 1/2,6/2,7.

Как видно из представленных данных, для состава 2 водоцементное соотношение составило В/Ц = 0,6, что является граничным значением при теоретическом определении состава бетона. При этом получалась бетонная смесь необходимой подвижности. При изготовлении состава 3 вследствие большой водопотребности шлакового щебня из-за развитой вспученной поверхности, наличия пор добавлено количество воды более чем 0,6, и водоцементное соотношение составило В/Ц = 0,64. Следует отметить, что для состава 3 было добавлено большее количество воды для достижения однородного смешения компонентов. Однако при формировании из бетонной смеси в опалубке образцов-кубов в результате вибрации на поверхности зафиксировано излишнее количество воды, а оставшееся количество смеси в емкости, напротив, имело малое количество воды, и смесь была жесткая.

Кроме того, в процессе изготовления при применении предварительного сухого перемешивания заполнителей с цементом наблюдалось большое пыление цемента, оседание на дне и недостаточная равномерность перемешивания компонентов. Для создания более однородной консистенции бетонной смеси для состава 4 предложено и выполнено высыпание отмеренных заполнителей в следующей последовательности: крупный (гранитный и шлаковый щебень), мелкий (кварцевый и шлаковый песок). Заполнители перемешивались сухим способом. Далее отмеряли и высыпали цемент, доливали необходимое количество воды. Смесь перемешивалась механизированным инструментом до получения однородной массы. При этом в составах 2 и 4 по сравнению с составами 1 и 3 произошло уменьшение сроков схватывания в 1,5 раза, что обусловлено наличием в них регенерата.

Результаты по определению прочности и плотности бетона представлены на рис. 2.

Из анализа полученных значений прочности и плотности бетона следует, что контрольные образцы состава 1 имеют среднюю кубиковую прочность на сжатие 20,4 МПа, что соответствует классу бетона В20, образцы состава 2 — 23,7 МПа (В22,5), состава 3 — 27,5 МПа (В25), 4 — 31,5 МПа (В30)⁵. Анализ по плотности показывает, что образцы-кубы составов 1 и 4 имеют сопоставимую плотность (2185 кг/м³ и 2160 кг/м³), наибольшей плотностью обладают образцы-кубы состава 3 (2315 кг/м³), наименьшей — образцы состава 2 (2010 кг/м³).

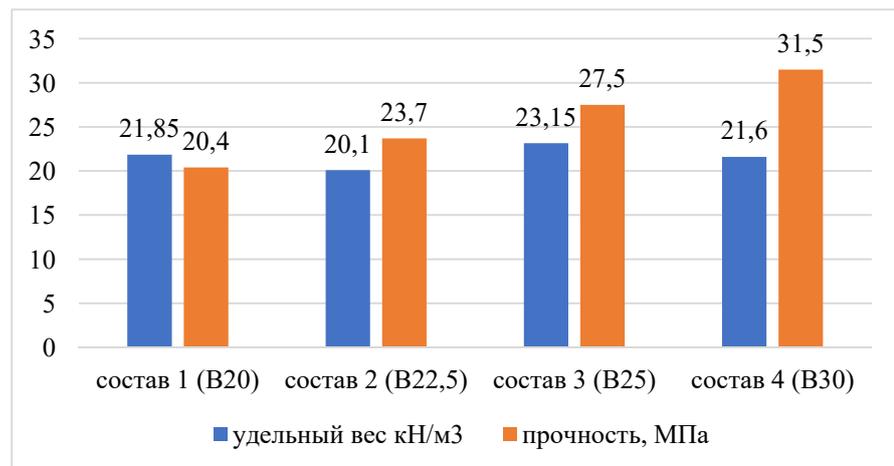


Рис. 2. График прочности и плотности экспериментальных составов бетонов

Заключение

В результате выполненных исследований авторами получены составы бетонов с комплексным использованием шлаковых отходов. На основании испытания бетонных образцов определены их прочность, класс бетона и значения плотности. Прочность всех кубов с добавлением шлакового заполнителя получилась выше, чем контрольного образца (контрольного — В20, минимальная для состава 2 соответствует классу бетона В22,5, для состава 3 — В25). Наиболее прочным оказался состав 4 с комплексными шлаковыми отходами, класс бетона соответственно составил В30. При изготовлении бетонных образцов наиболее однородной консистенции получился состав 4 при применении технологии предварительного сухого перемешивания заполнителей с последующим добавлением цемента и воды и перемешивания всей бетонной смеси. Следует отметить, что уменьшение расхода щебня с целью получения более однородной бетонной массы не привело к увеличению прочности бетонного камня.

Детальный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности применения бетона составов 2, 3, 4 в несущих бетонных и железобетонных конструкциях (фундаменты, колонны, балки, плиты пере-

⁵ СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М. : Стандартинформ, 2019. 124 с.

крытий и покрытий), изготавливаемых на заводе, с получением класса бетона по прочности на сжатие В20...В30.

Следует отметить, что необходимы дальнейшие исследования консистенции бетонной смеси и прочностных характеристик шлакового бетона путем модификации составов. Полученные составы бетонов обладают малой подвижностью, что не позволяет применять их непосредственно для монолитных конструкций, и в связи с технологией производства работ бетононасосом, вызывает необходимость получения шлакового состава большей подвижности путем введения пластифицирующих добавок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волченко Е. Ю., Акчурин Т. К. Оптимизация формирования композитов строительного назначения на основе техногенных отходов металлургии и инструментального производства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. Вып. 27(46). С. 67—73.
2. Айкашев А. В., Панишев Н. В., Махоткина Е. С. Эффективность переработки металлургических шлаков // Теория и технология металлургического производства. 2021. № 4(39). С. 9—12.
3. Акчурин Т. К., Пушкарская О. Ю. Нетрадиционные отходы региона как компоненты строительных композиционных материалов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 46(65). С. 27—39.
4. Тараканов О. В., Акчурин Т. К., Белякова Е. А., Москвин Р. Н. Расширение базы комплексных органоминеральных добавок в технологии бетона 97-108 // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 97—107.
5. Акчурин Т. К., Пушкарская О. Ю. Использование местных нетрадиционных вторичных ресурсов в технологиях строительных композитов: монография // Волгоград : Изд-во ВолГТУ, 2018. 216 с.
6. Baalamurugan J., Kumar V. G., Padmapriya R. Recent applications of steel slag in the construction industry // Environment Dev Sustain. 2023. DOI: 10.1007/s10668-022-02894-3
7. David R. Gaskell Chapter fourteen — the determination of phase diagrams for slag systems // Methods for Phase Diagram Determination. 2007. Pp. 442—458. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080446295500148>.
8. The Influence of Plasticizer on the Composition of Cement Stone Hydration Products / O. V. Tarakanov, E. A. Belyakova, V. I. Kalashnikov, O. V. Grintsova, N. I. Makridin // Advances Engineering Research. International Symposium on Mechanical Engineering and Material Science. 2016. Vol. 93. Pp. 186—191.
9. Chandiya K. V., Karthika Mrs. P. An Experimental Study on Strength and Durability of Concrete with Partial Replacement of Coarse Aggregate with Cupola Slag // Indo-Iranian Journal of Scientific Research. 2017. Vol. 1. Iss. 4. Pp. 01—11.
10. Скрипченко В. В., Тимофеева А. С., Короткова Л. Н. Способы утилизации металлургического шлама // Материалы IX международ. студенческой науч. конф. «Студенческий научный форум». URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017038153>.
11. Голова Т. А., Зотов Л. Д. Шлаки металлургического производства и их применение в бетонах // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: сб. трудов III международ. науч.-практ. конф. Т. I. Балаково, 2021. С. 350—355.
12. Голова Т. А., Зотов Л. Д. Подбор состава бетонной смеси как основа формирования эффективных строительных конструкций // Актуальные вопросы современной науки и практики: материалы международ. науч.-практ. конф. 2019. № 10(25). С. 35—41.

© Голова Т. А., Магеррамова И. А., 2024

Поступила в редакцию
в июне 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Голова Т. А., Магеррамова И. А. Комплексный подход к использованию отходов производств в изготовлении бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 3(96). С. 34—42. DOI: 10.35211/18154360_2024_3_34.

Об авторах:

Голова Татьяна Александровна — канд. техн. наук, доц. каф. архитектуры, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина (КубГАУ). Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; emelyanova-tanya@mail.ru

Магеррамова Инна Александровна — старший преподаватель каф. промышленного и гражданского строительства, Балаковский инженерно-технологический институт — филиал НИЯУ МИФИ (БИТИ НИЯУ МИФИ). Российская Федерация, 413800, г. Балаково, ул. Чапаева, 140; innamag82@mail.ru

Tatiana A. Golova, Inna A. Magerramova

^a *Trubilin Kuban State Agrarian University*

^b *Balakovo Institute of Engineering and Technology — branch of MEFPI*

AN INTEGRATED APPROACH TO THE USE OF INDUSTRIAL WASTE IN THE MANUFACTURE OF CONCRETE

The article discusses the use of slag waste of various fractions for the development of new compositions of concrete building elements. The research is aimed at solving the urgent issue of waste disposal of metallurgical industries within the framework of the strategy of the Russian Federation on the use of waste-free technologies. Experimental mixtures based on local materials with the use of slag waste from the metallurgical industry have been developed on the example of the Saratov region. The changes in the strength and density of mixtures during the introduction of slag waste from various enterprises of the metallurgical industry are considered. A comprehensive approach is proposed when replacing some of the traditional aggregates with slag waste. The values of strength and density of concrete with the use of industrial waste are obtained. According to the results of the work, the use of slag aggregates in concrete led to an excess of strength from 16 to 54 %, depending on the composition and amount of slag waste. The authors come to the conclusion that the complex use of small and large aggregates based on industrial waste leads not only to an increase in the strength of concrete mixtures, but also to the solution of the issue of resource conservation of the region within the framework of the development strategy of the Russian Federation.

Key words: slag waste of metallurgy, concrete mixtures, strength of concrete, density of concrete.

For citation:

Golova T. A., Magerramova I. A. [An integrated approach to the use of industrial waste in the manufacture of concrete]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 3, pp. 34—42. DOI: 10.35211/18154360_2024_3_34.

About authors:

Tatiana A. Golova — Candidate of Engineering Sciences, Trubilin Kuban State Agrarian University. 13, Kalinina st., Krasnodar, 350044, Russian Federation; emelyanova-tanya@mail.ru

Inna A. Magerramova — Senior Lecturer, Balakovo Institute of Engineering and Technology — branch of MEFPI. 140, Chapaeva st., Balakovo, 413800, Russian Federation; innamag82@mail.ru