

УДК 691.322

КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МОРОЗОСТОЙКИХ БЕТОНОВ

Санарова А.В., студент гр. СМа-251, I курс
Научный руководитель: Шабанов Е.А. к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

В статье представлена систематизация промышленных отходов Кузбасса, пригодных для использования в качестве компонентов бетонных смесей. На основе анализа региональных научных источников выделены четыре основные группы: золошлаковые материалы (ЗШМ) ТЭС, отходы обогащения угля, металлургические шлаки, а также отходы добычи и переработки нерудных полезных ископаемых. Для групп произведен анализ химического состава, способности к реакции с компонентами бетонной смеси, влияние на водоцементное соотношение. Выявлена пригодность отходов для производства бетона, используемого в отрицательных температурах.

В ранее выполненном обзоре автором [9] были рассмотрены основные составы бетона с добавлением промышленных отходов и перспективы применения модифицированных композитов в условиях отрицательных температур. Выявлено, что использование отходов угледобычи и металлургии позволяет снизить экологическую нагрузку и целенаправленно влиять на структуру цементного камня, повышая его морозостойкость. Но, для обоснованного выбора сырья и прогнозирования свойств готового бетона необходима детальная систематизация отходов по их происхождению, химико-минералогическому составу и физико-химической активности.

Кузбасс является одним из крупнейших индустриальных регионов России, где складировются огромные объемы техногенных образований. По данным ежегодного отчета о состоянии окружающей среды [1], золошлаковые отвалы ТЭС занимают более 2 тыс. га, а шламохранилища обогатительных фабрик содержат более 10 миллионов тонн отходов.

Цель работы – на основе анализа трудов научных деятелей произвести классификацию промышленных отходов, пригодных для производства морозостойких бетонов, и дать характеристику каждой группы с точки зрения их химико-минералогических особенностей, реакционной способности и влияния на технологические свойства бетонных смесей.

Основные группы промышленных отходов Кузбасса

Анализ научных источников [2–8] позволил выделить четыре укрупненные группы техногенных продуктов, которые могут быть использованы в качестве добавок при производстве бетона.

1. Золошлаковые материалы (ЗШМ)

Золошлаковые отходы, образующиеся при сжигании каменных углей, являются наиболее изученным видом вторичного сырья. По классификации, принятой в работах [2, 3], золы-уноса ТЭС относятся к низкокальциевым и обладают выраженной пуццолановой активностью. Химический состав характеризуется высоким содержанием SiO_2 (50–60 %), Al_2O_3 (20–30 %) и Fe_2O_3 (5–12 %); содержание CaO обычно не превышает 3–5 %. Особенностью ЗШМ является повышенное содержание несгоревшего углерода (до 5–8 %), что влияет на водопотребность и воздухововлечение [3, 7]. Шлаковая составляющая представляет собой спекшуюся стеклообразную массу. После дробления и классификации золошлаки могут использоваться в качестве пористого или плотного заполнителя для бетонов [3, 8]. С точки зрения пригодности для морозостойких бетонов, золы-уноса требуют обязательного применения суперпластификаторов для снижения водоцементного отношения и воздухововлекающих добавок для формирования замкнутых пор.

2. Отходы обогащения угля (угольные шламы)

В процессе обогащения угля на обогатительных фабриках образуются значительные объемы тонкодисперсных отходов – шламов. Удельная поверхность достигает 300–400 $\text{м}^2/\text{кг}$. После обезвоживания и термоактивации угольные шламы проявляют пуццолановые свойства. [4]. Химический состав отходов обогащения зависит от марки перерабатываемого угля, и среднем содержит 50–65 % SiO_2 , 15–25 % Al_2O_3 , до 10 % Fe_2O_3 и 5–20 % потерь при прокаливании [4]. Высокая дисперсность позволяет использовать их в качестве модификатора, однако повышенное содержание углерода может приводить к увеличению водопотребности, что требует подбора дозировок и применения водоредуцирующих добавок [9]. Введение термоактивированных угольных шламов в количестве 5–10 % от массы цемента позволяет повысить прочность бетона на 15–25 % и значительно уплотнить структуру, что положительно сказывается на морозостойкости.

3. Металлургические шлаки

Предприятия черной металлургии являются источниками доменных, сталеплавильных и ферросплавных шлаков. Гранулированные доменные шлаки (ГДШ) после тонкого помола обладают высокими гидравлическими свойствами и могут применяться как самостоятельное вяжущее или как активная минеральная добавка к цементу. Химический состав доменных шлаков: CaO (35–45 %), SiO_2 (35–40 %), Al_2O_3 (8–15 %) и MgO (5–10 %), такой состав определяет их гидравлическую активность. Сталеплавильные шлаки, содержат повышенное количество свободного оксида кальция и магния, что может вызывать нестабильность объема. Но, при длительном хранении и дроблении они пригодны в качестве заполнителя для бетона [5]. Ферросплав-

ные шлаки отличаются высоким содержанием SiO_2 и Al_2O_3 , что придает им пуццолановые свойства. Использование молотых доменных шлаков в составе комбинированных вяжущих позволяет снизить расход цемента до 30 % и повысить долговечность бетона в агрессивных средах. Для условий отрицательных температур имеет значение способность шлаковых вяжущих к длительному повышению прочности и формированию плотной структуры, что снижает проницаемость и повышает морозостойкость [5, 8].

4. Отходы добычи и переработки нерудных полезных ископаемых

К этой группе относятся отсеvy дробления горных пород (известняков, гранитов, песчаников). После классификации эти материалы могут служить полноценными заполнителями для бетонов различного назначения. Химико-минералогический состав отсеvов дробления зависит от исходной породы. Для известняковых отсеvов характерно высокое содержание CaCO_3 (до 90 %), что может вступать в реакцию с цементным камнем и улучшать адгезию. Гранитные и песчаниковые отсеvy являются инертными заполнителями, но их угловатая форма и шероховатость способствует повышению прочности сцепления с цементной матрицей [6]. С точки зрения морозостойкости бетона, применение таких заполнителей позволяет сократить расход природных ресурсов, но требует контроля содержания пылевидных и глинистых частиц, которые могут снижать водостойкость и морозостойкость.

Критерии пригодности отходов для производства морозостойких бетонов

На основе изученной литературы можно составить основные критерии, которым должны соответствовать промышленные отходы для их эффективного применения в бетонах, предназначенных для эксплуатации при отрицательных температурах:

1. Химико-минералогическая состав. Для тонкодисперсных добавок необходимо наличие аморфного кремнезема и/или глинозема, способных к пуццолановой реакции. Это обеспечивает вторичное гидратообразование, уплотнение структуры и повышение долговечности. Наиболее подходящие – золы-уноса и гранулированные доменные шлаки [2, 5].

2. Дисперсность и форма частиц. Оптимальная удельная поверхность для активных минеральных добавок составляет 300–500 $\text{м}^2/\text{кг}$. Слишком высокая дисперсность может привести к значительному увеличению водопотребности.[4].

3. Содержание вредных примесей. Для зол и угольных шламов критично содержание несгоревшего углерода. Его массовая доля не должна превышать 5–7 % для бетонов с высокими требованиями по морозостойкости.

4. Стабильность состава. Промышленные золошлаковые отходы, могут значительно варьироваться по составу в зависимости от сорта топлива. Для получения стабильных свойств бетона необходима усреднение сырья и входной контроль [1, 8].

5. Совместимость с химическими добавками. Для достижения высокой морозостойкости (F300 и выше) требуется сочетание активной минеральной добавки с суперпластификатором и воздухововлекающим агентом.

Сравнительный анализ групп отходов для применения в условиях отрицательных температур

На основе классификационных признаков можно провести сравнительный анализ пригодности рассмотренных групп отходов для производства морозостойких бетонов (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика промышленных отходов для морозостойких бетонов

Группа отходов	Активность	Влияние на водопотребность	Эффект на морозостойкость	Ограничения
Золы-уноса ТЭС	Пуццолановая, высокая	Повышает умеренно	Повышает (при оптимизации В/Ц и воздухововлечения)	Повышенное содержание углерода, различия в составе
Отходы обогащения угля	Высокая	Повышает значительно	Повышает (плотная структура)	Дорогостоящая активации, повышенное водопотребление
Металлургические шлаки	Гидравлическая, высокая	Повышает незначительно	Повышает (плотность, позднее твердение)	Необходимость в помоле, ограниченная активность стале-плавильных шлаков
Отсевы дробления	Инертные (кроме известняковых)	Снижают или не влияют	Зависит от качества (форма)	Требуют контроля зернового состава и содержания пыли

Из таблицы видно, что наиболее универсальными с точки зрения повышения морозостойкости являются золы-уноса и молотые доменные шлаки, так как они сочетают умеренное влияние на водопотребность со способностью к длительному структурообразованию. Отходы обогащения угля требуют дополнительной термоактивации и обязательного использования пластификаторов, но позволяют получать бетоны с особо плотной структурой. Заполнители из отсевов дробления могут эффективно использоваться в комбинации с активными добавками для комплексной экономии природных ресурсов.

Заключение

Выполненная систематизация промышленных отходов позволяет сделать следующие выводы:

1. Отходы промышленности наиболее пригодные для производства морозостойких бетонов, являются золошлаковые материалы, отходы обогащения угля, металлургические шлаки и отсеvy дробления горных пород.

2. Каждая группа характеризуется специфическими свойствами и составами, что определяет область их эффективного применения: золы и молотые шлаки – в качестве активных минеральных добавок в комбинированных вяжущих, угольные шламы – как высокодисперсные модификаторы, заполнители из отсеvов – для снижения нагрузки на природные ресурсы.

3. Для обеспечения высокой морозостойкости необходим комплексный подход: выбор отхода с оптимальной активностью и содержанием углерода, обязательное применение пластификаторов и воздухововлекающих добавок и строгий входной контроль состава сырья.

Классификационные признаки, выделенные в работе, могут служить основой для разработки алгоритма подбора составов бетона с заданными свойствами при строительстве и эксплуатации в условиях отрицательных температур.

Список литературы

1. Отчет о состоянии окружающей среды Кемеровской области. – Кемерово: Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области, 2022. – 200 с.

2. Калашников, В.И., Широков, Д.В. Исследование пуццолановой активности зол ТЭС Кузбасса и их влияние на свойства цементных систем // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 5 (129). – С. 94–101.

3. Горбунов, Г.И., Смирнов, А.Н. Использование золошлаковых отходов кузнечных углей в производстве строительных материалов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2015. – 168 с.

4. Калашников, В.И., Морозова, Л.Н., Петров, С.А. Перспективы использования отходов обогащения углей Кузбасса в качестве тонкодисперсных модификаторов бетона // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 12. – С. 154–165.

5. Лесовик, В.С., Фадеев, К.В., Волченко, А.Н. Техногенные сырьевые ресурсы Кузбасса для производства композиционных вяжущих и бетонов // Строительные материалы. – 2019. – № 8. – С. 44–49.

6. Рыбьев, И.А., Белоусова, О.В. Применение отсеvов дробления горных пород Кузнецкого Алатау в качестве заполнителей для бетонов регионального назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 5 (701). – С. 32–40.

7. Смирнов, А.Н., Горбунов, Г.И., Козлова, Е.В. Повышение морозостойкости бетона за счет комплексного модифицирования золой-уноса и воздухововлекающей добавкой для условий Сибири // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: Научные труды IV Всероссийской (76-й Всероссийской)

научно-практической конференции по бетону и железобетону. – Москва: МГСУ, 2021. – Т. 3. – С. 287–293.

8. Фадеев, К.В., Лесовик, В.С. Особенности зимнего бетонирования с применением золошлакосодержащих композиционных вяжущих в климатических условиях Западной Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – Т. 22, № 5. – С. 148–159.

9. Санарова, А.В., Шабанов, Е.А. Обзор составов бетона с добавлением отходов промышленности и перспективы применения модифицированного бетона в условиях отрицательных температур // (статья принята к публикации / в печати). – 2026.