

EDN: HXFXIZ

УДК 691.327.666.973.2

С. В. ПОПОВООО «ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ»,
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. Донецк

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ШАХТНОЙ КРЕПИ ИЗ ПЛОТНЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ЗОЛОШЛАКОБЕТОНОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ ШАХТНЫХ ВОД ДОНБАССА

Аннотация. Изложены результаты исследований возможности применения каменноугольных и антрацитовых золошлаковых смесей ТЭС Донбасса для изготовления элементов шахтной крепи, работающих в условиях агрессивных шахтных вод. Выполненные исследования показали, что каменноугольную золошлаковую смесь ТЭС можно применять в качестве заполнителя при изготовлении железобетонных элементов шахтной крепи. На основании результатов исследований можно рекомендовать к использованию при проведении ремонтных работ мелкозернистые плотные бетоны на каменноугольных золошлаковых смесях ТЭС. Мелкозернистые золошлакобетоны на каменноугольных смесях ТЭС, кроме хорошей коррозионной стойкости к агрессивным шахтным водам, обладают достаточной прочностью сцепления с тяжелыми бетонами на природных заполнителях и вполне могут применяться для ремонта и восстановления длительное время эксплуатирующихся сооружений.

Ключевые слова: элементы шахтной крепи, каменноугольная золошлаковая смесь ТЭС, антрацитовая золошлаковая смесь ТЭС.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Последние события в энергетике убеждают, что доля использования твердого органического топлива будет расти. Резкое уменьшение добычи газа в России, недостаточное его количество в Украине, проблемы с мазутом и атомным топливом – все свидетельствует о целесообразности использования энергетических углей [1].

Цель, выполняемых в ООО «ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ» работ, заключается в увеличении объемов использования золошлаковых смесей ТЭС Донбасса и расширении области применения бетонных и железобетонных изделий и конструкций из отходов энергетики в промышленном строительстве.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Минеральные компоненты углей Донецкого бассейна состоят, главным образом, из глины (41...50 %), свободного кремнезема (16...21 %) и железного колчедана (7...12 %). В небольших количествах содержатся также сульфаты, карбонаты, силикаты железа и щелочноземельных металлов и другие соединения. Глинистый минерал – каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ при нагревании до 400...600 °С разлагается и переходит в химически активный безводный каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, а при повышении температуры до 1 000 °С образуется муллитоподобная фаза $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. В этом же диапазоне температур 500...1 000 °С разлагаются карбонаты $MgCO_3$, $FeCO_3$, $CaCO_3$ с образованием оксидов MgO , CaO , FeO . Кварц претерпевает полиморфные превращения, начиная с 573 °С. Окисление железного колчедана происходит при температуре 500...600 °С с образованием Fe_2O_3 и SO_2 . Окислы железа в окислительной среде в верхней части топки переходят преимущественно в устойчивое соединение Fe_2O_3 (гематит), а в полувосстановительной среде в ядре факела образуется Fe_3O_4 (магнетит) [1, 2].

© С. В. Попов, 2024



При сгорании твердого топлива из его минеральной части образуется зола и шлак. Зола представляет тонкодисперсный материал, осаждаемый золоулавливающими устройствами из дымовых газов.

Шлак – материал, образующийся из расплава минеральной части угля (в топках с жидким шлакоудалением) и скапливающийся в шлакоборниках. При совместном удалении в отвалы золы и шлака, или при смешивании отдельно отбираемой золы и шлака образуется золошлаковая смесь. Золо и шлаки тепловых электростанций являются продуктами термохимических и фазовых превращений минеральных компонентов топлива [2–4].

Анализируя химический состав минеральных топливных отходов тепловых электростанций, можно отметить относительно высокое постоянство его, которое практически не имеет связи с видами сжигаемого топлива. Основными химическими компонентами минеральной части зол, шлаков и золошлаковых смесей являются кремнезем, глинозем и окислы железа, составляющие, как правило, до 90 % от всей неорганической массы. Содержание сернистых и серноокислых соединений в пересчете на SiO_2 находится в пределах 0,3...1,6 %, содержание CaO не превышает 5 %, известь в свободном виде отсутствует.

Зола – унос имеет существенное отличие от шлака по количественному содержанию закисно-окисных соединений железа. В золе – уносе содержатся в преобладающем количестве окись железа, а в шлаке – закись железа. Однако эти компоненты не влияют на эффективность применения золы и шлака в бетонах и растворах.

Результаты выполненных исследований в ООО «ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ» и опыт их внедрения в строительной практике, подтверждают эффективность использования в качестве однокомпонентного заполнителя для конструкционного бетона золошлаковых смесей ТЭС, работающих на углях Донецкого бассейна. С целью увеличения объема использования таких бетонов в строительстве, в ООО «ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ» всесторонне изучаются свойства золошлаковых смесей ТЭС текущего выхода, поскольку ее качество как заполнителя бетона в значительной степени зависит от вида угля, условий его сжигания и других технологических факторов. Одним из направлений использования бетонов на золошлаковом заполнителе является применение их для изготовления элементов железобетонной шахтной крепи.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Способность бетона сохранять свою прочность или увеличивать ее при длительном воздействии физических и химических факторов, обуславливает долговечность бетона. Для установления коррозионной стойкости бетонов в условиях воздействия агрессивных шахтных вод были проведены специальные опыты.

В качестве агрессивной среды в опытах использовались шахтные воды ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ «ШАХТА ИМЕНИ А. Ф. ЗАСЯДЬКО» Г. ДОНЕЦК (ГУП ДНР «ШАХТА ИМ. А. Ф. ЗАСЯДЬКО»).

Результаты химического анализа шахтных вод приведены в таблице 1.

Общая жесткость равняется 19,6 мг-экв/л (карбонатная – 15,5 мг-экв/л, постоянная – 4,1 мг-экв/л). Исходя из СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии, актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85, воды ГУП ДНР «ШАХТА ИМ. А. Ф. ЗАСЯДЬКО» обладают сульфатной агрессивностью по отношению к бетонам на несulfатостойком портландцементе.

Таблица 1 – Результаты химического анализа шахтных вод ГУП ДНР «ШАХТА ИМ. А. Ф. ЗАСЯДЬКО» (г. Донецк)

Наименование	Показатели
1	2
Общее содержание солей, мг/л	3 810
Бикарбонатная щелочность, мг/л	594
Содержание водородных ионов (рН)	8,2
Содержание ионов хлора (Cl), мг/л	645
Содержание сульфата ионов (SO_4^{-2}), мг/л	1 378
Содержание ионов кальция (Ca^{+2}), мг/л	415
Содержание ионов магния (Mg^{+2}), мг/л	184
Содержание жидких щелочей (Na+K), мг/л	438

В золе – уносе содержатся несгоревшие остатки органической части углей. Наличие этих остатков определяется потерей в массе при прокаливании анализируемой пробы, и является важной характеристикой, отличающей золу от шлака, антрацитовых зол и золошлаковых смесей от каменноугольных.

Шлак образуется из огненно-жидкого расплава минеральной части топлива, поэтому в нем отсутствуют органические остатки топлива. Среднее статистическое содержание п.п.п. в антрацитовых золах и золошлаковых смесях находится в пределах соответственно 4...18 и 2...12 %, а в каменно-угольных – соответственно 0,5...5,0 % и 0,1...3,0 % (2).

Физико-механические свойства золы, шлака и золошлаковой смеси характеризуются следующими данными. Плотность золы находится в пределах от 2,20 до 2,60 г/см³. Наличие несгоревших органических остатков снижает плотность золы, насыщенная плотность золы колеблется в пределах от 700 до 1 200 кг/м³. При этом следует отметить, что крупная зола, отбираемая с первых полей электрофильтров, отличается большей насыщенной плотностью, а мелкая – с последних полей электрофильтров, имеет меньшую плотность.

Шлак и золошлаковая смесь имеют более высокую плотность по сравнению с золой, т. к. в их составе содержится тяжелая закись железа и металлическое железо в виде отдельных включений. Плотность шлака находится в пределах от 2 500 до 2 800 кг/м³, а в золошлаковой смеси от 2 400 до 2 700 кг/м³.

Насыщенная плотность шлака составляет от 1 000 до 1 500 кг/м³, а золошлаковой смеси от 1 250 до 1 770 кг/м³.

Коррозионная стойкость бетонов оценивалась по потере их прочности после 180-суточного хранения контрольных образцов в шахтных водах.

Для изготовления образцов бетона применялись портландцемент марки 500, изготовитель ООО «ПИК ЦЕМЕНТ+» ФИЛИАЛ № 1, каменноугольная золошлаковая смесь Зуевской ТЭС и антрацитовая золошлаковая смесь Старобешевской ТЭС. Соотношение между зольной и шлаковой частями золошлаковой смеси принималось оптимальным, составляющим 30 70 в процентах по массе. Расход цемента изменялся от 250 до 400 кг на 1 м³ бетона.

Составы бетона, применявшиеся в исследованиях, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Составы бетонов на антрацитовых и каменноугольных золошлаковых смесях ТЭС применявшихся в исследованиях

№ составов	Вид золошлаковой смеси	Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг		
		цемент	Золошлаковая смесь	вода
1	2	3	4	5
1	Каменно угольная	255	1 643	195
2		330	1 607	215
3		400	1 592	219
4	Антрацитовая	268	1 630	215
5		339	1 601	225
6		414	1 586	229

Из приведенных в таблице 2 составов приготавливались бетонные смеси. Приготовление бетонных смесей производилось в лабораторном бетоносмесителе принудительного действия емкостью 50 литров. Продолжительность перемешивания смесей составляла 6 минуты.

Из приготовленных бетонных смесей формовались образцы-кубы размером 10×10×10 см. Формование образцов осуществлялось на виброплощадке с амплитудой колебаний 0,35 мм при частоте 3 600 кол/мин. Продолжительность вибрации составляла 30 сек.

Изготовленные образцы делились на 3 группы.

Первая группа образцов подвергалась пропариванию в камере насыщенным паром при атмосферном давлении по следующему режиму: предварительное выдерживание 2 часа; подъем температуры 3 часа; изотермический прогрев при температуре (85...87) °С 8 часов; охлаждение 2 часа. Часть образцов из этой группы испытывалась после пропаривания, другая часть в возрасте 28 и 180 суток после хранения в нормальных условиях.

Вторая группа образцов не подвергалась пропариванию и хранилась в нормальных условиях. Испытание образцов этой группы производилось в возрасте 28 и 180 суток.

Третья группа образцов после пропаривания помещалась в сетчатые контейнеры, которые устанавливались в шахтные воды. Испытание образцов производилось после выдержки в шахтных водах в течение 180 суток.

Результаты испытаний бетонных образцов, твердевших в различных условиях приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний образцов золошлакобетонов

№ составов	Расход цемента марки 500 на 1 м ³ бетона, кг/м ³	Возраст бетона при испытании, сутки	Прочность на сжатие образцов размером 10×10×10 см, твердевших в различных условиях, МПа		
			Пропаривание и хранение в нормальных условиях	Хранение в нормальных условиях	Пропаривание и хранение в шахтных водах
1	2	3	4	5	6
1	255	1	27,1	–	–
		28	29,4	25,8	–
		180	37,2	36,0	34,2
2	330	1	28,6	–	–
		28	30,1	26,9	–
		180	39,4	38,5	38,3
3	400	1	33,2	–	–
		28	36,2	31,9	–
		180	43,8	43,5	42,8
5	268	1	25,0	–	–
		28	27,56	24,8	–
		180	34,4	33,9	30,5
6	339	1	26,3	–	–
		28	28,69	26,3	–
		180	36,3	35,1	32,8
7	414	1	30,6	–	–
		28	32,58	30,1	–
		180	40,9	39,9	37,4

Результаты испытаний показывают, что прочность бетонов на заполнителя из каменноугольной и антрацитовой золошлаковых смесей независимо от условий твердения растет во времени. Причем, к возрасту 180 суток прочность пропаренного и не пропаренного бетонов практически выравниваются [1].

В пропаренных образцах, хранившихся в шахтных водах в течении 180 суток отмечается недобор прочности. По сравнению с пропаренными образцами, хранившихся вне шахтных вод, этот недобор составляет:

- в бетонах на каменноугольных золошлаковых смесях при расходах цемента 255, 330 и 400 кг на 1 м³ соответственно 8,1, 2,8 и 2,3 %;
- в бетонах на антрацитовых золошлаковых смесях с расходом цемента 268, 339 и 414 кг на 1 м³ соответственно на 12,4, 9,6 и 8,6 %.

Во всех случаях с повышением расхода цемента недобор прочности снижается.

В бетонах на каменноугольной золошлаковой смеси недобор прочности по сравнению с бетоном на антрацитовой золошлаковой смеси значительно ниже и при расходах цемента свыше 255 кг на 1 м³ бетонной смеси практически не влияет на эксплуатационные качества бетона.

Выполненные исследования показали, что каменноугольную золошлаковую смесь ТЭС можно применять в качестве заполнителя при изготовлении железобетонных элементов шахтной крепи.

Эти исследования нашли практическое применение, в частности, при изготовлении шахтных затежек на предприятиях строительной индустрии Донбасса. Потребителями бетонных элементов

шахтной крепи на основе золошлакобетонов являются угольные предприятия, такие как ГУП ДНР «ШАХТА ИМ. А. Ф. ЗАСЯДЬКО».

При обследованиях, проводившихся ООО «ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ», выявляется, что монолитные бетонные элементы крепления шахтных стволов, находятся в удовлетворительном состоянии. За годы эксплуатации прочность бетона заметно возросла и составляет, как показали результаты испытаний специально отобранных образцов и испытания неразрушающими методами, 30...40 МПа. Однако имеются многочисленные участки, имеющие дефекты в виде раковин и неуплотненного бетона, которые не были устранены еще со времен строительства шахты. На таких участках отмечается выпадение отдельных, не связанных растворной частью бетона зерен крупного заполнителя, дальнейшее снижение плотности бетона и увеличение фильтрации через него шахтных вод.

ВЫВОДЫ

На основании результатов исследований можно рекомендовать к использованию при проведении ремонтных работ мелкозернистые плотные бетоны на каменноугольных золошлаковых смесях ТЭС. Мелкозернистые золошлакобетоны на каменноугольных смесях ТЭС, кроме хорошей коррозионной стойкости к агрессивным шахтным водам, обладают достаточной прочностью сцепления с тяжелыми бетонами на природных заполнителях и вполне могут применяться для ремонта и восстановления длительное время эксплуатирующихся сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркавенко, В. В. Использование отходов тепловых электростанций / В. В. Гаркавенко. – Текст : непосредственный // Строительные материалы и изделия. – 2001. – № 3. – С. 11.
2. Петрик, И. Ю. Высокофункциональные бетоны с обогащенной электрической сепарацией золой-уносом ТЭС / И. Ю. Петрик, Н. М. Зайченко, А. И. Сердюк. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Выпуск 2016-1(117) Современные строительные материалы. – С. 32–40.
3. СП 28.13330.2012. Защита строительных конструкций от коррозии : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 625 и введен в действие с 01 января 2013 г. : актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 : дата введения 2013-01-01 / исполнители Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева), Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В. А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко) – институт ОАО «НИЦ "Строительство"», ЗАО «Центральный научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н. П. Мельникова» (ЗАО «ЦНИИПСК им. Н. П. Мельникова») [и др.]. – Москва : Минрегион России, 2012. – 99 с. – Текст : непосредственный
4. Попов, В. В. Экологические проблемы Донбасса и пути их решения в полносборном домостроении / В. В. Попов, В. П. Давиденко. – Текст : непосредственный // Будівництво України. – 1996. – № 1. – С. 43–45.
5. Давиденко В. П. Бетоны для ограждающих конструкций на основе зол и шлаков Донбасса : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Давиденко Вячеслав Петрович. – Ростов-на-Дону : РИСИ, 1991. – 16 с. – Текст : непосредственный.
6. Попов, С. В. Мелкозернистые плотные бетоны со специальными свойствами на заполнителях из каменноугольных и антрацитовых золошлаковых материалов ТЭС Донбасса : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Попов Сергей Владимирович. – – Макеевка, 2003. – 20 с. – Текст : непосредственный.
7. Карпенко, И. С. Опыт использования вторичных ресурсов в Донбассе / И. С. Карпенко. – Донецк : Облполиграфиздат, 1990. – 220 с. – Текст : непосредственный.

Получена 09.01.2024

Принята 26.01.2024

SERGEY POPOV
PRODUCTION OF MINE SUPPORT ELEMENTS FROM DENSE FINE-GRAINED
ASH AND SLAG CONCRETE, OPERATING UNDER THE INFLUENCE OF
AGGRESSIVE MINE WATERS IN DONBASS
«DONETSK PROMSTROYNIIPROEKT» LLC, Russian Federation, Donetsk People's
Republic, Donetsk

Abstract. The results of studies on the possibility of using coal and anthracite ash and slag mixtures at thermal power plants in Donbass for the manufacture of mine support elements operating in conditions of aggressive mine waters are presented. The performed studies showed that coal ash and slag mixture from thermal power plants can be used as a filler in the manufacture of reinforced concrete elements of mine support. Based on the research results, it can be recommended to use fine-grained dense concrete based on coal ash and slag mixtures at thermal power plants for repair work. Fine-grained ash and slag concrete based on coal mixtures at thermal power plants, in addition to good corrosion resistance to aggressive mine waters, have sufficient adhesion strength to heavy concrete based on natural aggregates and can be used for the repair and restoration of structures that have been in operation for a long time.

Keywords: mine support elements, coal ash and slag mixture of thermal power plant, anthracite ash and slag mixture of thermal power plant.

Попов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией ООО «ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ». Научные интересы: применение минеральных отходов промышленности для производства строительных материалов.

Popov Sergey – Ph. D. (Eng.), Head of the Laboratory of «DONETSK PROMSTROYNIIPROEKT» LLC. Scientific interests: the use of mineral waste from industry for the production of building materials.