

УДК 662.613.1.002.8

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ СИБИРИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТРОТУАРНОГО КАМНЯ

© 2011 К.П. Гусев, В.В. Ларичкин, Н.И. Ларичкина

Новосибирский государственный технический университет

Поступила в редакцию 06.10.2011

В работе предложена технология изготовления тротуарного камня вибролитьевым методом с использованием золошлаковых отходов тепловых электростанций Сибирского региона, сжигающих угли Канско-Ачинского бассейна. В задачу экспериментальных исследований входило получение тротуарного камня на основе высококальциевой золы с маркой по прочности не ниже В-30. Полученные образцы с разным соотношением компонентов в смеси исследовались на прочность при сжатии, влагопоглощение, морозостойкость и истираемость. Установлено, что при вводе в состав бетонной смеси золошлаковых отходов в количестве до 30% от массы сухих компонент, прочностные характеристики тротуарного камня соответствуют выбранной марке. Экспериментально определено, что оптимальное время свободной сушки тротуарного камня составляет 14 суток. За это время изделия набирают от 70 до 80% марочной прочности.

Ключевые слова: *тепловые электростанции, золошлаковые отходы, тротуарный камень, вибролитьевой метод*

Загрязнение окружающей среды продуктами топливно-энергетического комплекса давно является ключевой экологической проблемой, как в нашей стране, так и за рубежом. Актуальность решения этой проблемы в перспективе на ближайшие 50-70 лет будет всё более возрастать из-за общей тенденции увеличения использования угля в производстве электроэнергии. Основная задача в развитии электро- и теплоэнергетики Сибири, как и во всей России, заключается в обеспечении в процессе выработки электрической и тепловой энергии высокой экономичности, надёжности, полной экологической безопасности. В настоящее время для решения этой задачи предлагается достаточно много оптимальных энергосберегающих технологий. Например, снижение вредных выбросов при сжигании органических топлив на ТЭС на разных стадиях: топливоподготовки, сжигания топлива, охлаждения продуктов сгорания; очистка сбросных вод технологического цикла с возвратом их в цикл; снижение выбросов диоксида углерода; уменьшение размеров золоотвалов с целью минимизации земель отчуждения; использование золошлаковых отходов как вторичного сырья и др. [1]. В тоже время повсеместное использование золошлаковых отходов, например, для изготовления строительных материалов, крайне затруднительно

вследствие того, что они представляют собой многокомпонентную систему и характеризуются переменным химико-минеральным составом, зависящим от вида топлива, способа и условия его сжигания на ТЭС, способа улавливания золы и др. [2]. Состав золошлаков различается не только для углей разных бассейнов, но и для каждого отдельно взятого месторождения. Топливные золы и шлаки являются продуктами термохимических и фазовых превращений неорганических компонентов топлива при высоких температурах его сжигания. Различают кислые и основные золы. Кислые золы, как правило, содержат до 10-12% CaO, остальное SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ и др. Основные золы делят на низко- (до 30%), средне- (30-38%) и высококальциевые (свыше 38%) [3]. На тепловых электростанциях Сибири в основном сжигаются угли Канско-Ачинского и Кузнецкого бассейнов. При сжигании бурых углей Канско-Ачинского бассейна образуются высококальциевые золы, а углей Кузнецкого бассейна – кислые и низкокальциевые. Влияние условий сжигания бурого угля на состав и свойства высококальциевых зол подробно описаны в [3]. Авторы этой работы отмечают, что фазовый состав зол, полученных в разных топках, имеет разную степень закристаллизованности, что подтверждается данными рентгеноструктурного и химического анализов. Многими исследователями установлено, что среди кристаллических фаз в золах присутствует кварц, CaO_{св}, ангидрит, периклаз, псевдоволластонит, различные по основности алюминаты и алюмоферриты кальция, кальцит и др. Процессы гидратации и твердения буроугольных высококальциевых

Гусев Кирилл Петрович, аспирант. E-mail: dreamcat87@mail.ru

Ларичкин Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры инженерных проблем экологии. E-mail: larichkin@craft.nstu.ru

Ларичкина Наталья Илларионовна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры инженерных проблем экологии. E-mail: larinata@mail.ru

зол в основном связаны с образованием прочного искусственного камня в результате взаимодействия CaO , минералов цементного клинкера и стеклофазы с водой. Экспериментальные исследования многих авторов [3-6] показывают, что высококальциевые золы обладают вяжущими свойствами, которые напрямую зависят от состава золы, однако они не могут быть использованы в качестве самостоятельных вяжущих материалов нормального твердения.

Анализ научно-технической литературы показал, что топливные высококальциевые золы и шлаки находят применение в производстве строительных материалов, в частности, в качестве сырьевого компонента для производства портландцементного клинкера, как минеральная добавка к цементу, как самостоятельное вяжущее для бетонов и растворов нормального и автоклавного твердения, для получения керамзита [3-6]. В работе [7] описывается композиция, включающая портландцемент, высококальциевую золу, а также хлорид или сульфат натрия, которые обеспечивают снижение оптимального количества воды затворения, увеличение пластической прочности газобетонного массива, компенсацию избыточных деформаций расширения золоцементного камня за счет обменных реакций между свободной известью золы и химическими добавками.

Цель работы: найти оптимальную композицию состава для получения тротуарного камня с маркой по прочности не ниже В-30 на основе использования высококальциевой золы угольных электростанций Сибирского региона.

Актуальность работы связана с расширением сырьевой базы для производства тротуарного камня в Сибирском регионе и частичным снижением экологической нагрузки от золоотвалов за счет сокращения их объемов в случае реализации крупномасштабного производства тротуарного камня на основе высококальциевой золы. Как известно [8], производство строительного камня возможно по различным технологиям. Наиболее широко на практике используются вибропрессование и вибролитье. В данной работе выбрана технология вибролитья, как обеспечивающая требуемые эксплуатационные характеристики изделий, многообразие их форм и размеров, возможность изготовления крупногабаритных изделий за счет армирования. В задачу экспериментальных исследований входило получение тротуарного камня на основе высококальциевой золы с маркой по прочности не ниже В-30.

Методика получения тротуарного камня. Основные этапы приготовления образцов:

- выбор исходных сухих и жидких компонентов – песок, щебень, вода, различные органические добавки (отходы), высококальциевая зола, портландцемент и др.;
- навеска материалов;

- измельчение (или химическая активация) отдельных компонентов;
- приготовление сухой смеси, посредством смешения сухих компонент на мешалках;
- добавление к сухой смеси жидких компонентов и тщательное перемешивание;
- вибрационное воздействие на готовую бетонную смесь в течение заданного времени;
- свободная или принудительная сушка готовых образцов изделий.

При изготовлении образцов были использованы поверхностно-активные вещества, позволяющие обеспечить лучшее перемешивание смеси с максимально низким отношением вода/цемент (В/Ц), а также осуществлялся подбор форм. Формы – одна из главнейших деталей в производстве тротуарного камня, так как их стойкость к износу, гидрофильность и отсутствие адгезии к бетонной смеси обеспечивают высокое качество получаемых поверхностей изделия и точность их размеров.

Экспериментальное оборудование и приборы. В работе использовалось стандартное лабораторное оборудование: дисковые и шаровые мельницы для измельчения твердых материалов, смесители для перемешивания, анализатор ситовой с виброприводом для отделения требуемой фракции. В ходе работы были получены 34 серии образцов. Каждая серия состояла из 5-6 образцов. Испытания полученных образцов тротуарного камня проводились на прочность при сжатии, истирание, влагопоглощение и морозостойкость. Испытания на прочность при сжатии проводились на оборудовании INSTRON Satec D30. Для опытов на истирание использовался круг истирания ЛКИ-3М. Морозостойкость определялась в климатической камере WTH-155 (диапазон изменения температуры от -20 до $+70^\circ\text{C}$).

Исходные компоненты и маркировка образцов. В качестве исходных компонентов использовался портланд-цемент марки М400, обской речной песок фракции $<0,2$ мм, ПАВ, гранитная крошка фракции 5-10 мм, высококальциевая зола канско-ачинских углей фракции порядка 0,3 мм. Используемая для изготовления образцов тротуарного камня высококальциевая зола отбиралась с места складирования золошлаковых отходов, в основном с золоотвала ТЭЦ-3 г. Новосибирска. Изготовленные образцы имели маркировку *К-№-А-Б-В-Ц(З)-П*, где *К-№* – обозначение серии (*К* для всех образцов одинаково, *№* – порядковый номер). Следующая цифра за порядковым номером «*А*» указывает на процентное содержание цемента в смеси, далее идёт цифра «*Б*» характеризующая отношение вода/цемент, затем «*В*» процентное содержание золы (в случае если зола отсутствует, то содержание золы равно 0). Следующее обозначение в виде буквы «*Ц*» указывает на то, что была проведена

механическая активация цемента в шаровой мельнице, а буква «З», что была проведена механическая активация золы. Наличие в конце шифра буквы «П» указывает на введение в смесь пластификатора. Изготовленные образцы и их обозначение указаны в табл. 1.

Результаты испытаний и их анализ. Прочность при сжатии – основной показатель механических свойств бетона. Она определяется пределом прочности при сжатии стандартных образцов – кубов, изготовленных из данной бетонной смеси и выдержанных до испытания в течение 28 суток в нормальных условиях. По пределу прочности на сжатие для тротуарных плит установлены следующие классы: В22,5, В25, В30, В35. Цифры в обозначении класса соответствуют пределу прочности на сжатие измеренному в МПа. Прочность бетона при сжатии зависит от активности цемента (марки прочности), соотношения массы воды и цемента (В/Ц), прочности и качества заполнителей, их зернового состава, длительности твердения, температуры и влажности окружающей среды и др.

Все изготовленные образцы испытывались на прочность по ГОСТ 10180-90 [9] и влагопоглощение

по ГОСТ 12730.3-78 [10] в возрасте от 7 до 40 дней. Основные результаты испытаний на сжатие и влагопоглощение в зависимости от возраста смеси приведены в табл. 1, где в соответствующей колонке в числителе отмечены сутки, на которые с момента изготовления проводились испытания, а в знаменателе значение прочности при сжатии в МПа. Допустимым уровнем влагопоглощения для тротуарного камня из тяжелых бетонов является отметка в 5%. Как видно из табл. 1, все образцы на основе высококальциевой золы удовлетворяют этому требованию. Установлено, что образцы тротуарного камня при хранении в нормальных условиях в 7 суточном возрасте имеют среднюю прочность, равную 60-70% от 28 суточной (марочной) прочности, а в возрасте 180 суток, 1 года и 2 лет их прочность соответственно составляет 150, 175 и 200% марочной прочности. Набор прочности образцами соответствует классическому поведению. Отметим, что основная масса образцов набирала 70% от своей марочной прочности уже к концу 14 суток от момента их изготовления.

Таблица 1. Результаты испытаний на прочность и влагопоглощение

Код	Шифр	Прочность на сжатие, сут/МПа	Водопоглощение, %	Код	Шифр	Прочность на сжатие, сут/МПа	Водопоглощение, %
К-1	К1-23-0,4	-	-	К-15	К15-20,9-0,49-21,8П	28/33	1,9
К-2	К2-21,3-0,41	28/38	5,6	К-15/2	К15/2-20,9-0,49-20П	-	-
К-3	К3-22,3-0,39	-	-	К-16	К16-20,9-0,49-25,8П	10/32	1,8
К-4	К4-22,3-0,39Ц	29/28	4,5	К-17	К17-16,8-0,61-20П	-	-
К-5	К5-22,3-0,39Ц	28/25	5,5	К-18	К18-21,3-0,49-20П	-	-
К-6	К6-26,6-0,33	-	-	К-19	К19-22-0,5-30П	13/31	2,0
К-7	К7-26,6-0,33П	-	-	К-20	К20-21,3-0,49-20П	16/30,5	2,1
К-8	К8-26,6-0,33-5П	-	-	К-21	К21-21,3-0,49-20АП	16/30,8	2,0
К-9	К9-24,7-0,35-7П	7/33	4,5	К-22	К22-23,5-0,38П	21/25,2	1,8
К-10	К10-23,4-0,48-10П	4/20,6	3,2	К-23	К23-21,3-0,49-20П	21/26,0	1,9
К-11	К11-17,6-0,58-15П	12/9,8		К-24	К24-21,3-0,49-20АП	21/27,5	1,8
К-12	К12-17-0,5-20П	7/29,9	2,2	К-25	К25-19-0,55-28АП	21/28,8	2,1
К-13	К13-16,8-0,61-20П	10/29	1,8	К-26	К26-21,3-0,49-25П	21/26,8	2,2
К-14	К14-21,3-0,49-20П	13/43,7	1,7	К-27	К27-21,3-0,58-25П	21/27,2	1,9

На рис. 1 показано изменение прочности образцов тротуарного камня различного состава за 14-суточный период. Экспериментами установлено, что образцы, в состав которых добавлено более 1% ПАВ, имеют пористую структуру, что ухудшает эксплуатационные характеристики готового продукта и его морозостойкость. Механоактивация отдельных компонентов смеси заметного эффекта не дала. Отметим, что на качество готового продукта особенно сильно влияет степень чистоты исходных компонент и правильно подобранное водоцементное соотношение.

Выводы: результаты испытаний лабораторных образцов тротуарного камня полученных вибророльевым методом показали, что для обеспечения класса изделия не хуже В30 в состав смеси может входить до 30% высококальциевой золы. Такая технология имеет в Сибирском регионе широкие перспективы для внедрения. Учитывая, что золошлаковые отходы принадлежат предприятиям теплоэнергетики, наиболее рентабельным может быть производство тротуарного камня непосредственно на ТЭС.

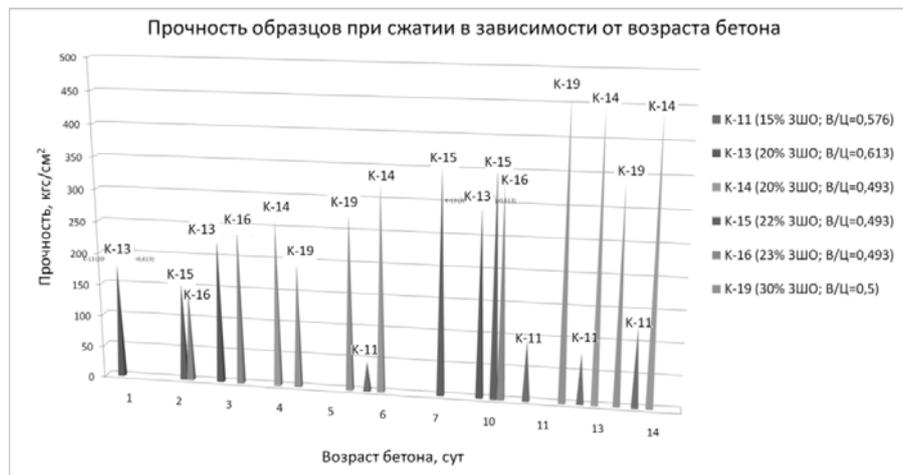


Рис. 1. Набор прочности образцами в зависимости от возраста смеси

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пугач, Л.И. Энергетика и экология: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 504 с.
2. Состав и свойства золы и шлаков ТЭС: справочное пособие / Под ред. В.А. Мелентьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. 288 с.
3. Вишня, Б.Л. Перспективные технологии удаления, складирования и использования золошлаков ТЭС / Б.Л. Вишня, В.М. Уфимцев, Ф.Л. Капустин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2006. 156 с.
4. Уфимцев, В.М. Цементы с добавками золошлаков КАТЭКа / В.М. Уфимцев, В.А. Пьячев, Ф.Л. Капустин, Б.Л. Вишня // Науч. тр. НИИцемент. 1983. Вып. 75. С. 70-74.
5. Овчаренко, Г.И. Оценка свойств зол углей КАТЭКа и их использование в тяжелых бетонах / Г.И. Овчаренко, Л.Г. Плотнокова, В.Б. Францев. – Барнаул: АГТУ, 1997. 149 с.
6. Полубояров, В.А. Использование техногенных отходов в технологии получения керамзита // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты», г. Новокузнецк. 6-9 октября 2009 г. С. 29-38.
7. Хижинкова, Е.Ю. Разработка технологии золопортландцемента из высококальциевых зол ТЭС с обеспечением деструктивной безопасности материалов // Дис. на соискан. уч. степ. канд. техн. наук. – Барнаул, 2007. 211 с.
8. Баранов, И.М. Новые эффективные строительные материалы для создания конкурентных производств // Строительные материалы. 2001. №2. С. 26-28.
9. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
10. ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Метод определения водопоглощения.

PROSPECTS OF USING THE ASHES WASTE FROM SIBERIA POWER SYSTEM IN MANUFACTURE THE PAVING TILE

© 2011 K.P. Gusev, V.V. Larichkin, N.I. Larichkina

Novosibirsk State Technical University

In work the paving pile manufacturing technology by vibromolding method with using the ashes waste from thermal power stations in Siberian region, burning coals of Kansk-Achinsk, basin are offered. The problem of experimental researches included reception of paving tile on a basis of high-calcium ashes with mark on durability not more low than B-30. The received samples with a different parity of components in a mix were investigated on compressive strength, moisture absorption, frost resistance and an abrasability. It is established that at input in structure of concrete mix of ashes waste in quantity to 30% from weight of dry components, durability of paving tile correspond to the chosen mark. It is experimentally defined that optimum time of paving tile free drying makes 14 days. In this time products type from 70 to 80% of branded durability.

Key words: *thermal power stations, ashes waste, paving tile, vibromolding method*

Kirill Gusev, Post-graduate Student. E-mail: dreamcat87@mail.ru
 Vladimir Larichkin, Doctor of Technical Sciences, Professor at the
 Engineering Problems of Ecology Department. E-mail: larichkin@craft.nstu.ru
 Nataliya Larichkina, Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor
 at the Engineering Problems of Ecology Department. E-mail: larinata@mail.ru