

УДК 691.327.333

**ПЕНОБЕТОН ЕСТЕСТВЕННОГО ТВЕРДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЗОЛЫ-УНОСА****Бартеньева Екатерина Анатольевна**

доцент кафедры «Строительные материалы, стандартизация и сертификация», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск
e.bartenyeva@sibstrin.ru

Куралов Артем Евгеньевич

магистрант кафедры «Строительные материалы, стандартизация и сертификация», ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск
a.kuralov@sibstrin.ru

Аннотация

В статье проведено исследование свойств золы-уноса от сжигания бурых углей Бородинского разреза Канско-Ачинского угольного бассейна ТЭЦ-5 г. Новосибирска. Рекомендовано использовать данные отходы в составе пенобетона естественного твердения.

Ключевые слова: пенобетон, ячеистый бетон, зола-уноса, белковый пенообразователь, отходы.

FOAM CONCRETE OF NATURAL HARDENING USING FLY ASH**Ekaterina A. Bartenjeva**

Associate professor of the Department of building materials, standardization and certification, Novosibirsk State University of architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk

Artem E. Kuralov

Undergraduate student of the Department of building materials, standardization and certification, Novosibirsk State University of architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk

ABSTRACT

The article conducted a study of the properties of fly ash from the combustion of brown coal from the Borodinskii section of the Kansk-Achinsk coal basin at CHPP-5 in Novosibirsk. It is recommended to use this waste as part of naturally hardening foam concrete.

Keywords: foam concrete, cellular concrete, fly ash, protein foaming agent, wastes.

Введение

По данным источника [1] в России на ТЭС сжигается более 123 млн тонн угля в год. Выход золы и шлака от теплоэлектростанций, работающих на твердом угольном топливе, в год составляет примерно 25 млн, при этом в золоотвалы уходит около 1,5 млрд тонн золошлаков.

«На данный момент использование золошлаковых отходов в России находится на крайне низком уровне – до 10 % от их годового выхода» [1]. Тогда как в развитых зарубежных странах данный уровень составляет 50-100 %.

В России электростанции оборудованы системами гидрозолошлакоудаления и складирования золошлаков в отвалы в виде золошлаковой смеси. Золоотвалы занимают более 28 тыс. гектаров земли и являются источником серьезных экологических и экономических проблем [2, 3]. Для реализации золошлаковых отходов на ТЭС улавливают золу электрофильтрами и отбирают ее на производственные нужды в сухом состоянии. В данный момент ТЭЦ-5 Новосибирска использует для сжигания бурые угли Бородинского разреза.

Целью данного исследования является определение возможности использования техногенных отходов, золы-уноса ТЭЦ-5 г. Новосибирска, для приготовления пенобетона естественного твердения.

Материалы и методы исследования

При проведении исследований использовался портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Н производства ООО «Топкинский цемент», истинная плотность – 3160 кг/м³, насыпная плотность – 1056 кг/м³.

Были использованы протеиновые пенообразователи «FoamCem» (Laston Italiana S.p.A, Италия), «Эталон (ООО «Аист», Челябинск)», «Rospena» (Rospena, Мордовия) и синтетический «ПБ-2000» (ОАО "Ивхимпром", г. Иваново, РФ).

В исследовании в качестве заполнителя для приготовления пенобетона применяли отходы от сжигания бурых углей Бородинского разреза Канско-Ачинского угольного бассейна ТЭЦ-5 (г. Новосибирск).

Химический состав золы, представленный в таблице 1, был определен в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН на базе Института геологии и минералогии СО РАН.

Таблица 1 – Химический состав золы-уноса

П.П.П., %	Содержание оксидов в % мас. на прокаленное вещество										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	BaO
0,52	49,47	7,36	7,51	27,53	4,52	0,23	0,28	1,24	0,03	0,44	0,38

По содержанию оксида кальция зола содержит более 10 % (табл. 1), в соответствии с ГОСТ 25818-2017 [4] зола является основной. По требованиям стандарта для пенобетона количество СаО_{своб} не нормируется. По классификации Савинкиной М. А. и Логвиненко А. Т. [5] исследуемая зола относится к среднекальциевой с содержанием СаО 20-30%. Содержание сернистых и сернокислых соединений не превышает 6%, количество щелочных оксидов также удовлетворяет требованиям ГОСТ (не более 3,5%). Потери при прокаливании составляют 0,52%, что не превышает нормируемых показателей (3%) и соответствует показателям золы сухого отбора.

Физико-механические свойства используемой золы-уноса приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства золы-уноса ТЭЦ-5 г. Новосибирска

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Значение
1	Влажность	%	0,4
2	Плотность насыпная	кг/м ³	1342
3	Пустотность	%	46
4	Плотность истинная	кг/м ³	2489
5	Остаток на сите 008(по массе)	%	14,2
6	Удельную активность естественных радионуклидов	Бк/кг	113

Остаток на сите не превышает 30% для использования золы в ячеистых бетонах. Удельная активность естественных радионуклидов в золе, используемой для строительства жилых и общественных зданий, не превышает 370 Бк/кг (табл. 1) [6].

По требованиям ГОСТ 25485-2019 в качестве вяжущего компонента в ячеистых бетонах можно использовать высокоосновную золу с содержанием оксида кальция не менее 40 % [7]. Т.к. исследуемая зола данному параметру не соответствует, было решено ее использовать в качестве заполнителя.

Пенобетон готовился по двухстадийной технологии на турбулентной установке со скоростью вращения рабочего органа 940-1500 об/мин. Твердение образцов происходило в нормальных условиях в формах кубов размерами 10x10x10 см.

Результаты и их обсуждение

При расчете модуля основности M_o и коэффициента качества K_k , исследуемой золы получены следующие результаты:

$$M_o = \frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3}; \quad M_o = \frac{27,53+4,52}{49,47+7,36} = 0,56; \quad (1)$$

$$K_k = \frac{CaO+MgO+Al_2O_3}{SiO_2+MnO}; \quad K_k = \frac{27,53+4,52+19,45}{49,47+0,09} = 1,04; \quad (2)$$

Такие золы обладают свойством самостоятельного твердения, могут применяться для производства изделий на их основе. Коэффициент качества золы согласуется с показателями других авторов [8]. Авторами [9] установлена корреляция между K_k и прочностью материала.

Далее для сравнения были изготовлены образцы пенобетона на основе пенообразователя FoamСem и испытаны через 28 суток нормального твердения. В таблице 2 приведены свойства пенобетона, полученного на основе кислой золы-уноса от сжигания каменных углей Кузнецкого бассейна ТЭЦ-5 [10] и исследуемой золы. Количество компонентов в обоих случаях одинаковое.

Таблица 2 – Пенобетон на основе разных видов зол

Вид золы-уноса	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент конструктивного качества
Кислая	547	1,22	2,2
Основная	558	1,44	2,6

Практически при одинаковой плотности прочность пенобетона и коэффициент конструктивного качества на основе основной золы бурых углей выше на 18% показателей пенобетона на основе кислой золы каменных углей (табл. 2).

Также были приготовлены образцы пенобетона с применением исследуемой золы на основе разных пенообразователей (табл. 3).

Таблица 3 – Пенобетон на основе золы-уноса ТЭЦ 5 г. Новосибирска

Вид пенообразователя	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент конструктивного качества
FoamСem	558	1,44	2,6
Rospena	577	2,30	4,0
Эталон	600	2,12	3,53
ПБ-2000	416	0,64	1,54

На основе протеиновых пенообразователей получен пенобетон с более высокой плотностью 550-600 кг/м³. Наибольшая прочность и коэффициент конструктивного качества соответствуют пенобетону на пенообразователе Rospena. На пенообразователе ПБ-2000 получена плотность 416 кг/м³.

Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что можно использовать золу-уноса от сжигания бурых углей ТЭЦ 5 г. Новосибирска в качестве заполнителя для получения пенобетона естественного твердения. При использовании пенообразователей отечественного производства неавтоклавный пенобетон соответствует плотности 400-600 кг/м³ и требуемой прочности, что позволит обеспечить импортозамещение энергосберегающими, относительно дешевыми материалами. Использование золы-уноса позволит сократить заполнение золоотвалов и улучшить экологическую обстановку в регионе.

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Правительства Новосибирской области молодым ученым (договор от 18.09.2023 № гр-1).

Список литературы:

1. Золошлаки: нерешённая проблема – Текст : электронный // Энергетика и промышленность России. – 2019. – № 05 (361). – URL: <https://www.eprussia.ru/epr/361/1492205.htm> (дата обращения: 28.12.2023)
2. Очур-Оол, А. П. Экологические аспекты воздействия Кызылского золоотвала на окружающую среду / А. П. Очур-Оол, С. С. Севен // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 2(4). – С. 71-74.
3. Андреева, Н. Г. Проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ и возможные пути их решения / Н. Г. Андреева // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4-2. – С. 164-166.
4. ГОСТ 25818-2017. Золоуноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия : введ. 2018-03-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200156972> (дата обращения: 27.12.2023).

5. Савинкина, М. А. Золоы канско-ачинских бурых углей / М. А. Савинкина, А. Т. Логвиненко. – Новосибирск: Наука, 1979. – 168 с.
6. ГОСТ 30108-94. М а т е р и а л ы и и з д е л и я с т р о и т е л ь н ы е .
Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов :
введ. 1995-01-01. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и
нормативно-технических документов. – URL:
<https://docs.cntd.ru/document/871001235> (дата обращения: 27.12.2023).
7. ГОСТ 25485-2019. Бетоны ячеистые. Общие технические условия : введ. 2020-01-01. –
Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических
документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166675> (дата обращения:
27.12.2023).
8. Овчаренко, Г.И. Газобетоны на основе высококальциевых зол ТЭЦ : монография /
Г.И. Овчаренко, Ю. В. Щукина, К. П. Черных; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова.
– Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2009. – 233 с.
9. Уфимцев, В. М. Использование золы Барнаульской ТЭЦ-3 в производстве вяжущих /
В. М. Уфимцев, А. А. Безверхий, О. А. Игнатова // Резервы производства
строительных материалов. Тез. докл. – Барнаул, 1991. – С. 10-12.
10. Бартеньева, Е. А. Использование золы-уноса в производстве пенобетона / Е. А.
Бартеньева, Н. А. Машкин, Т. Е. Шоева // Естественные и технические науки. – 2015.
– № 11 (89). – С. 600-603.

References:

1. Ash and slag: an unsolved problem – Text : electronic // Energy and industry of Russia. –
2019. – № 05 (361). – URL: <https://www.eprussia.ru/epr/361/1492205.htm> (date of the
application: 28.12.2023)
2. Ochur-Ool, A. P. Environmental aspects of the impact of the Kyzyl ash dump on the
environment / A. P. Ochur-Ool, S. S. Seven // Bulletin of Vologda State University. Series:
Technical Sciences. – 2019. – № 2(4). – P. 71-74.
3. Andreeva, N. G. Problems of recycling ash and slag waste from thermal power plants and
possible solutions to them / N. G. Andreeva // Polzunovsky Bulletin. – 2011. – № 4-2. – P.
164-166.
4. GOST 25818-2017. Fly ash from thermal power plants for concrete. Specifications :
introduced 2018-03-01. – Text : electronic // Electronic fund of legal, regulatory and
technical documents. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200156972> (date of the
application: 27.12.2023).
5. Savinkina, M. A. Ashes of Kansk-Achinsk brown coals / M. A. Savinkina, A. T. Logvinenko.
– Novosibirsk: Science, 1979. – 168 p.
6. GOST 30108-94. Construction materials and products. Determination of specific effective
activity of natural radionuclides : introduced 1995-01-01. – Text : electronic // Electronic
fund of legal, regulatory and technical documents. – URL:
<https://docs.cntd.ru/document/871001235> (date of the application: 27.12.2023).

7. GOST 25485-2019. Cellular concrete. General technical conditions : introduced 2020-01-01.
– Text : electronic // Electronic fund of legal, regulatory and technical documents. – URL:
<https://docs.cntd.ru/document/1200166675> (date of the application: 27.12.2023).
8. Ovcharenko, G.I. Aerated concrete based on high-calcium ashes from thermal power plants : monograph / G.I. Ovcharenko, U. V. Shchukina, K. P. Chernykh; Alt. st. techn. university named after I.I. Polzunova. – Barnaul : AltSTU, 2009. – 233 p.
9. Ufimtsev, V. M. Use of Barnaul ash CHPP-3 in the production of binders / V. M. Ufimtsev, A. A. Bezverkhy, O. A. Ignatova // Reserves for the production of building materials. Abstracts of reports. – Barnaul, 1991. – P. 10-12.
10. Bartenjeva, E. A. Use of fly ash in the production of foam concrete / E. A. Bartenjeva, N. A. Mashkin, T. E. Shoeva // Natural and technical sciences. – 2015. – № 11 (89). – P. 600-603.