

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 Kansko-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 бурый уголь 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 0 42,5Н производства ООО «Топкинский цемент», истинная плотность – 3160 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность – 1056 кг/м<sup>3</sup>.

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 <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	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<sub>своб</sub> 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 <sup>3</sup>	1342
3	Пустотность	%	46
4	Плотность истинная	кг/м <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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/м<sup>3</sup>. Наибольшая прочность и коэффициент конструктивного качества соответствуют пенобетону на пенообразователе Rospena. На пенообразователе ПБ-2000 получена плотность 416 кг/м<sup>3</sup>.

#### 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/м<sup>3</sup> 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. Золо-уноса 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. Золо 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. Бартьева, Е. А. Использование золы-уноса в производстве пенобетона / Е. А.  
Бартьева, 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.