

# Применение золошлаковых отходов в промышленности строительных материалов

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-85-88>

В статье представлены результаты исследования перспективы применения золошлаковых отходов, образующихся в процессе сжигания угля на тепловых электростанциях, при производстве бетона. Установлено, что включение в состав бетонной смеси золы приводит к уменьшению стоимости производимых строительных материалов, экономии природных ресурсов, увеличению прочности и морозостойкости конструкций. Использование золошлаковых отходов в составе смеси с учетом содержания оксида кальция (CaO) позволило осуществить классификацию получаемой смеси для производства тяжелых и легких бетонов. При определении состава смеси необходимыми характеристиками являлись прочность получаемого изделия, морозостойкость, устойчивость к появлению трещин под воздействием внешних нагрузок, таких как сдвливание, растяжение, охлаждение. Проведен анализ работ российских и зарубежных ученых по изготовлению тяжелых и легких бетонов с применением золошлаковой смеси, образуемой при сжигании угля. Представлен химический состав золы-уноса, что позволило определить соотношение данного заполнителя в составе бетонной смеси.

**Ключевые слова:** сжигание угля, золошлаковые отходы, тепловые электростанции, теплоэффективность, высококальциевые золы, зола-уноса, гранулометрический состав, хозяйственный оборот, ресурсосбережение.

**Для цитирования:** Астафьева О.Е. Применение золошлаковых отходов в промышленности строительных материалов // Уголь. 2024. № 2. С. 85-88. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-85-88.

## АСТАФЬЕВА О.Е.

Канд. экон. наук,  
заведующий кафедрой экономики и  
управления в строительстве  
ФГБОУ ВО Государственный  
университет управления,  
109542, г. Москва, Россия,  
e-mail: [oe\\_astafyeva@guu.ru](mailto:oe_astafyeva@guu.ru)

## ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно объемы золошлаковых отходов увеличиваются на 1,5 млн т, а площадь земель, занятых данными отходами, составляет порядка 20 тыс. га земли. В этой связи достаточно острой проблемой становится определение вариантов переработки данных отходов с возможностью их использования в производстве строительных материалов, что позволит снизить антропогенное воздействие на окружающую среду и сократить расходы не только на их хранение, но и на производство продукции. Вовлечение в производство строительных материалов вторичных ресурсов позволяет формировать высокотехнологичные предприятия в промышленности строительных материалов [1], которые способны выпускать конкурентоспособную продукцию с применением золошлаковых отходов, например сухие строительные смеси, высокопрочный цемент, золоминеральные утеплители, ячеистые бетонные блоки, известково-золенный кирпич и другие строительные материалы, в состав которых входят золошлаковые отходы как компонент, улучшающий свойства изделия.

Изготовление строительных материалов на золошлаковой основе приводит к экономии природных ресурсов, снижению себестоимости строительства, способствует повышению морозостойкости строительной продукции и теплоэффективности.

Таким образом, включение золошлаковых отходов (далее – ЗШО) в состав производимых строительных материалов удешевляет строительство при сохранении качества и способствует улучшению экологической обстановки. Например, применение ЗШО при выполнении работ по строительству земляного полотна автомобильных дорог [2] снижает себестоимость данных работ на 15% [3]. Использование золошлаковой смеси при строительстве дорог уменьшает деформацию дорожного полотна в зимний период, что позволяет использовать ее как добавку для пористого и плотного асфальтобетона марок II и III, в которых допустимо использование данного вида заполнителя.

Важным моментом является соблюдение требований безопасности продукции, производимой с использованием ЗШО. В категорию вторичных отходов, применяемых в производстве строительных материалов входят только отходы, прошедшие обработку, переработку и обезвреживание, отвечающие санитарно-гигиеническим требованиям.

Одним из наиболее перспективных методов использования ЗШО является применение их в качестве наполнителя в бетонной смеси, что делает ее более прочной и позволяет применять при монолитном строительстве.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Золошлаковые отходы относятся к 5 классу опасности, т.е. наименее опасные, но с учетом их размещения на открытых земельных участках, при отсутствии переработки и вторичного использования, с каждым годом требуются большие площади для хранения. Вовлечение в хозяйственный оборот золошлаковых отходов зависит от используемого угольного топлива, в результате которого они образуются, и от имеющихся технологий их переработки. В строительной отрасли можно выделить следующие направления применения строительных материалов с использованием золошлаков: строительство дорог, строительство нежилых зданий и производство высокопрочных железобетонных конструкций для объектов специального назначения.

Золошлаковые отходы являются мелкодисперсионным материалом, частицы которого составляют примерно 0,14мм, что позволяет использовать ЗШО в качестве заполнителя различных смесей. Так, использование зол, образующихся теплоэлектростанциями (далее – ТЭЦ), в качестве заполнителя в бетонной смеси позволяет производить бетон повышенной прочности и экономить до 50% природных заполнителей, что обеспечивает ресурсосбережение при производстве строительной продукции.

Свойства, присущие ЗШО, такие как высокая плотность и низкая теплопроводность, также позволяют сократить энергозатраты и снизить потребность в природных заполнителях [4], что является действенным способом экономии природных ресурсов.

При замене в бетоне части цемента на ЗШО примерно на 270 мегаватт в год снижается объем углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу [5].

Использование ЗШО в технологиях производства бетона снижает воздействие на окружающую среду CO<sub>2</sub> примерно на 800 кг на 1 т произведенного клинкера [6] в силу его уменьшения в составе благодаря золошлаковому наполнителю, который по химическим свойствам в большей части соответствует составу цемента. Однако следует отметить, что применяемые в России высококальциевые золы характеризуются высоким содержанием в составе оксида кальция (CaO), что позволяет их классифицировать (см. таблицу) на кислые (в составе которых до 10% CaO) и основные (в составе более 10% CaO). В этой связи для изготовления легкого бетона в смесь добавляются хлористый кальций и соляная кислота, которые стабилизируют состав и препятствуют образованию коррозии бетона. При производстве тяжелых бетонов высокое содержание оксида кальция приводит к минерализации материала, что делает изготавливаемую бетонную смесь более прочной за счет высоких вяжущих свойств.

Следует отметить, что на состав золы оказывают влияние используемый на ТЭЦ тип угля и применяемая технология сжигания, что позволяет в качестве важного направления исследования использовать летучую золу при изготовлении легких и тяжелых бетонов.

Химический состав золы-уноса включает: 57,5% – SiO<sub>2</sub>; 21,51% – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 9,19% – CaO; 6,8% – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,6% – MgO; 0,4% – Na<sub>2</sub>O; 1,6% – K<sub>2</sub>O; 0,7% – TiO<sub>2</sub>; 0,7% – SO<sub>3</sub>. Несмотря на то, что все золы по химическому составу однородны, гранулометрический состав и удельная поверхность у них отличаются (например, удельная поверхность находится в диапазоне от 3000 до 5000 см<sup>2</sup>/г [7, 8]). Зола-уноса как микронаполнитель, являющийся минеральной добавкой, влияет на структурообразование бетона и увеличивает его вяжущие свойства. Происходит улучшение удобоукладываемости, и снижаются водоотделение бетонной смеси, усадочная деформация, повышается время транспортировки бетона до потребителя.

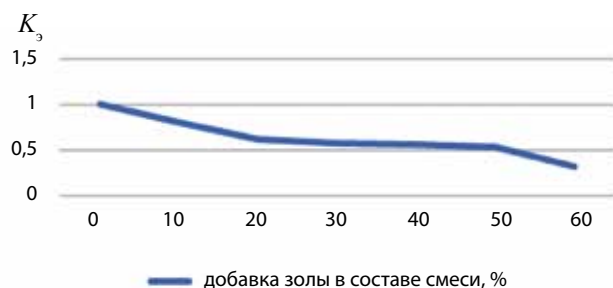
При замене части цемента золой и для определения ее гидравлической активности на основе методик, представленных в ГОСТ 314.4 «Цементы. Методы испытаний» и ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии (с Изменениями N 1, 2)» [9], в работе определялся коэффициент цементирующей эффективности (K<sub>ц</sub>) образца размером 40×40×160 мм на 28 сутки на сжатие, растяжение и изгиб. Добавление 30% золы в массу цемента дает наибольшую эффективность по

### Виды золошлаковых смесей

Types of ash and slag mixtures

#### Золошлаковые отходы (смеси)

Класс	Class F	Class C
Содержание CaO, %	< 10	> 10
Характеристика	Кислые	Основные
По виду сжигаемого угля подразделяются:	– На антрацитовые (образуются при сжигании антрацита, полуантрацита, тощего каменного угля); – Каменноугольные (образуются при сжигании каменного угля, за исключением из состава тощего угля	– Буроугольные (образуются при сжигании бурого угля)



Определение коэффициента цементующей эффективности при вводе золы-уноса в состав смеси  
 Determination of the cementing efficiency index when fly ash is introduced into the mixture

прочности (см. рисунок). Прочность бетона увеличивается на 12% при вводе 1,5% золы-уноса.

Как показывают результаты исследования, содержание золы-уноса в бетоне не должно превышать 50%, в противном случае уменьшаются морозостойкость и прочность. Оптимальный процент золы в составе смеси, при котором сохраняется прочность строительных материалов, определен в сравнении с образцом бетона, изготовленным без добавок. Так, введение 10-30% золы-уноса в смесь показало высокую прочность по сравнению с сравниваемым образцом. За счет адгезии зола-уноса лучше контактирует с цементующей массой, за счет чего уменьшаются микротрещины и увеличивается прочность бетона.

Мелкодисперсионные золы используются в разработке суперпластификаторов, которые являются добавкой для бетона, вводимой в смесь для изменения в нужном направлении ее свойств. То есть происходит изменение качественных характеристик бетона, что сказывается на улучшении укладываемости и формуемости.

При применении в бетонах ЗШО получается мелкозернистый бетон, относящийся к категории тяжелых и соответствующий следующим классам прочности на сжатие (выдерживаемой нагрузки на разрушение в Мпа) В5; В7,5; В10; В12,5; В15 и В25 [10, 11, 12, 13, 14]. При изготовлении необходимо следующее соотношение компонентов цемента и золошлаковой смеси по массе с использованием следующей схемы:

Прочность = цемент : золошлаковый состав.

Тяжелый бетон используется для изготовления строительных конструкций, а применение золы улучшает гранулометрический состав смеси, что приводит к образованию более плотного и прочного бетона, способного удерживать гидростатическое давление до 1,2 Мпа, что позволяет изготавливать крупные элементы строительной конструкции – панели, перекрытия, несущие конструкции. Изготовление бетона с применением ЗШО повышает экономическую эффективность производства, которая заключается в снижении расхода цемента на 25%, песка на 30%.

Для изготовления мелкозернистого бетона помимо ЗШО в состав добавляют природный кварцевый песок, тогда происходит сокращение расхода цемента в смеси на 20%. Такой бетон эффективен при производстве тонкостенных конструкций или конструкций из густоармированного бетона, к которым относятся монолитные бетонные и желе-

зобетонные конструкции, в которых содержание арматуры составляет более 1%. Густоармированный каркас применяется для строительства специальных сооружений с целью повышения прочности и устойчивости к нагрузкам. В таких случаях обычно применяют бетон класса В25 с характеристиками морозостойкости F150 и водонепроницаемости W6. Состав такого бетона будет соответствовать: 1 (цемент) : 0,8 (зола) : 5,4 (песок). При таком соотношении зола заполняет пустоты, образуемые между песчинками в составе, и увеличивает прочность бетона до 50%. Несмотря на то, что в составе уменьшается расход цемента, стойкость к появлению трещин увеличивается.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение в составе бетонной смеси золошлаковых отходов позволяет сделать более экономически выгодным производство бетона, увеличить его выпуск, обеспечив снижение затрат и снижение негативной нагрузки на окружающую среду. Определено, что применение ЗШО уменьшает стоимость строительных материалов на 20%, повышается прочность бетона на 15-25%, улучшаются его технологические свойства, снижается негативное воздействие на окружающую среду за счет вторичного использования зол и уменьшения площади загрязненных земель. Исследование воздействия золошлаковых отходов на свойства бетона позволило определить соотношение состава смеси для достижения необходимых характеристик прочности и морозостойкости. Введение минеральных добавок в состав бетона позволяет не только экономить цемент, но и улучшать технические характеристики получаемой смеси, а именно улучшать качество, коэффициент цементующей эффективности и прочность конструкций. Представленное изменение соотношения массы цемента в составе бетона и его частичная замена на золу позволили представить отношение масс веществ в составе бетонов разной марки, при которых прочность сохранилась. При изготовлении образцов раствор показал высокую прочность на сжатие и образование трещин. Рекомендовано использовать ЗШО в составе цемента для нежилых объектов строительства. Достижимая прочность раствора позволяет его применять при строительстве мостов, тоннелей, дорог и при строительстве промышленных объектов.

### Список литературы

1. Абдюшева Д.Р., Степанов А.А. Характеристика структуры перевозок транспортно-логистического комплекса и его динамика // Управление. 2020. Т. 7. № 4. С. 24-31.
2. Костоглодов Д.Д., Харисова Л.М. Распределительная логистика. Ростов-на-Дону: Изд-во Экспертное бюро, 1997. 128 с.
3. Астафьева О.Е. Особенности формирования механизма устойчивого развития промышленности на основе эффективного использования ресурсов // Вестник университета. 2020. № 7. С. 45-50.
4. Global value chains in a changing world / Edited by Deborah K. Elms and Patrick Low // Fung Global Institute (FGI), Nanyang Technological University (NTU), and World Trade Organization (WTO), 2013. URL: [https://www.wto.org/english/res\\_e/booksp\\_e/aid4tradeglobalvalue13\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/aid4tradeglobalvalue13_e.pdf) (дата обращения: 15.01.2024).
5. Губанов Д.А. Производство и поставки угля в России. Информационно-аналитический обзор (июнь 2020). М.: ЦДУ ТЭК, 2020. 29 с.

6. Катышева Е.Г. Отраслевые особенности формирования собственных финансовых ресурсов на предприятиях горной промышленности // Новый взгляд. Международный научный вестник. 2014. № 4. С. 172-185.
7. Гринько Н.К. Перспективы добычи и использования угля // Уголь. 2000. № 11. С. 7-12.
8. Киселев Ю. М. Устойчивость производственно-экономической системы хозяйствующего субъекта реального сектора экономики. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2006. 44 с.
9. Li D.-Y., Liu W.-C., Wang S. Formation mechanism of coal mine sustainable capacity design // Journal of the China Coal Society. 2017.
10. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-июнь 2020 года // Уголь. 2020. № 9. С. 35-47. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-35-47.
11. Возможности устойчивого развития угольной промышленности на основе применения риск-ориентированного подхода в управлении / Т.Ю. Шемякина, О.Е. Астафьева, А.А. Горбунов и др. // Уголь. 2020. № 5. С.29-32.
12. Sustainable consumption and production – Research, experience, and development – The Europe we want / Rebeka Kovacic Lukman, Peter Glavic, Angela Carpenter et al. // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 138. P. 139-147.
13. Advanced Modelling Techniques Studying Global Changes in Environmental Sciences / Y.-S. Park, S. Lek, C. Baehr et al. // Developments in Environmental Modelling. 2015. Vol. 27. 1-std. 380 p.
14. Paving the Way to Sustainable Consumption and Production / Commission on Sustainable Development Eighteenth session. URL: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/462csd18\\_2010\\_bp4.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/462csd18_2010_bp4.pdf). UNEP. 2010 (дата обращения: 15.01.2024).

Original Paper

UDC 662.613.11:662.613.136 © O.E. Astafyeva, 2024  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 2, pp. 85-88  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-85-88>

**Title**  
**APPLICATION OF ASH AND SLAG WASTE IN THE BUILDING MATERIALS INDUSTRY**

**Author**

Astafyeva O.E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State University of Management, Moscow, 109542, Russian Federation

**Authors Information**

**Astafyeva O.E.**, PhD (Economic), Head of Department of Economics and Management in Civil Construction, e-mail: [oe\\_astafyeva@guu.ru](mailto:oe_astafyeva@guu.ru).

**Abstract**

The article presents the results of a study of the prospects for the use of ash and slag waste generated during the combustion of coal at thermal power plants in the production of concrete. It has been established that the inclusion of ash in the concrete mixture leads to a reduction in the cost of produced building materials, saving natural resources, and increasing the strength and frost resistance of structures. The use of ash and slag waste in the mixture, taking into account the calcium oxide (CaO) content, made it possible to classify the resulting mixture for the production of heavy and light concrete. When determining the composition of the mixture, the necessary characteristics were the strength of the resulting product, frost resistance, and resistance to cracking under the influence of external loads, such as compression, tension, and cooling. An analysis of the work of Russian and foreign scientists on the production of heavy and lightweight concrete using an ash and slag mixture formed during the combustion of coal was carried out. The chemical composition of fly ash is presented, which made it possible to determine the ratio of this filler in the concrete mixture.

**Keywords**

Coal combustion, Ash and slag waste, Thermal power plants, Thermal efficiency, High-calcium ash, Fly ash, Particle size distribution, Economic turnover, Resource saving.

**References**

1. Abdysheva D.R. & Stepanov A.A. Characteristics of transportation organization in transport and logistics complex and its dynamics. *Upravlenie*, 2020. Vol. 7, (4), pp. 24-31. (In Russ.).
2. Kostoglodov D.D. & Kharisova L.M. Distribution logistics. Rostov-on-Don, Ekspertnoe Buro Publ., 1997, 128 p. (In Russ.).
3. Astafyeva O.E. Specific features in formation of sustainable industrial development mechanism based on efficient use of natural resources. *Vestnik universiteta (Gosudarstvennyj universitet upravleniya)*, 2020. (7), pp. 45-50. (In Russ.).
4. Global value chains in a changing world. Edited by Deborah K. Elms and Patrick Low. Fung Global Institute (FGI), Nanyang Technological University (NTU), and World Trade Organization (WTO), 2013. Available at: [https://www.wto.org/english/res\\_e/booksp\\_e/aid4trade/globalvalue13\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/aid4trade/globalvalue13_e.pdf) (accessed 15.01.2024).

5. Gubanov D.A. Coal production and supply in the Russian Federation. Information and analysis review (June, 2020), Moscow, Central Control Administration of the Fuel and Energy Complex, 2020, 29 p. (In Russ.).
6. Katsysheva E.G. Sector-specific features in formation of corporate financial resources in companies of the mining industry. *Novyj vzglyad. Mezhdunarodnyj nauchnyj vestnik*, 2014, (4), pp. 172-185. (In Russ.).
7. Grinko N.K. Prospects of coal mining and use. *Ugol'*, 2000, (11), pp. 7-12. (In Russ.).
8. Kiselev Yu.M. Stability of production and economic system of an economic entity in real economy. Novosibirsk, IEIE of SB RAS Publ., 2006, 44 p. (In Russ.).
9. Li D.-Y., Liu W.-C. & Wang S. Formation mechanism of coal mine sustainable capacity design. *Journal of the China Coal Society*, 2017.
10. Tarazanov I.G. & Gubanov D.A. Russia's coal industry performance for January – June, 2020. *Ugol'*, 2020, (9), pp. 35-47. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-35-47.
11. Shemyakina T.Yu., Astafyeva O.E., Gorbunov A.A., Genkin E.V. & Balakhanova D.K. Opportunities for sustainable coal industry development through a riskbased approach to management. *Ugol'*, 2020, No. 5, pp. 29-32. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-5-29-32.
12. Rebeka Kovacic Lukman, Peter Glavic, Angela Carpenter & Peter Virtic. Sustainable consumption and production – Research, experience, and development – The Europe we want. *Journal of Cleaner Production*, 2016, (138), pp. 139-147.
13. Park Y-S., Lek S., Baehr C. & Jorgensen S-E. Advanced Modelling Techniques Studying Global Changes in Environmental Sciences. *Developments in Environmental Modelling*, 2015, (27), 1-std. 380 p.
14. Paving the Way to Sustainable Consumption and Production. Commission on Sustainable Development. Eighteenth session. Available at: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/462csd18\\_2010\\_bp4.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/462csd18_2010_bp4.pdf). UNEP. 2010 (accessed 15.01.2024).

**For citation**

Astafyeva O.E. Application of ash and slag waste in the building materials industry. *Ugol'*, 2024, (2), pp. 85-88. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-85-88.

**Paper info**

Received January 9, 2024  
 Reviewed January 15, 2024  
 Accepted January 26, 2024

COAL PREPARATION