

К.Р. Истомина, А.М. Бургунутдинов, К.А. Хусаинова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ВОЗМОЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛЫ УНОСА

В России по данным аналитического центра при Правительстве РФ 104,8 млн т добытого угля было использовано в качестве основного источника топлива на тепловых электростанциях (ТЭС). При сжигании каменного угля факельным или слоевым способом на ТЭС и ГРЭС образуются как газообразные продукты, так и твердые золошлаковые отходы (ЗШО) – золы уноса и шлаки. Согласно данным 2015 г. за год в России образовался объем ЗШО в количестве 30,4 млн т. Все остальные ЗШО находятся на полигонах и в золоотвалах. Анализируется проблема утилизации золошлаковых отходов, в частности золы уноса, которые образуются при сгорании твердого топлива на угольных ТЭС. Избыток золошлаковых отходов не только на территории РФ, но и на землях других стран приводит к ухудшению экологической обстановки, а также к нерациональному использованию природных ресурсов. Низкий объем потребления и утилизации зольных веществ способствует росту площадей, занимаемых золоотвалами, что также негативно сказывается на экологической ситуации. В рамках данной работы приведена классификация золы и ее составляющие, которые возможно выделить путем переработки зол. Элементы, отделяемые при работе с золошлаковыми отходами, обладают разными свойствами, структурой. За счет этого зола уноса может применяться в таких сферах жизнедеятельности, как строительное производство, дорожное строительство, сельское хозяйство и другие. Рассмотренные возможные пути утилизации золошлаковых отходов расширяют границы применения зол в техногенной деятельности человека, что является перспективным путем решения поставленной в данной работе проблемы. В статье приведен и проанализирован опыт применения золы уноса в разных странах (ближнего и дальнего зарубежья) в зависимости от видов зол и области их применения. Определены основные направления в развитии индустрии утилизации золошлаковых отходов, отмечены положительно влияющие на экологическую ситуацию в мире аспекты и обозначены преимущественные виды производства и продукции с применением зол уноса и их компонентов.

Ключевые слова: зола уноса, сгорание топлива, золошлаковые отходы, утилизация использование отходов производства.

K. Istomina, A. Burgonutdinov, K. Khusainova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

POSSIBLE TECHNOLOGIES FOR USING FLY ASH

In Russia, according to the analytical center under the Government of the Russian Federation, 104.8 million tons of extracted coal were used as the main fuel source at thermal power plants. When burning coal by flare or layer method at thermal power plants and state district power stations, both gaseous products and solid ash (fly ash) and slag waste are formed. According to the data of 2015, 30.4 million tons of ash-and-slag waste was generated in Russia. All other ash-and-slag waste is located at landfills and in ash disposal areas. The presented article describes the problem of ash and slag waste disposal, in particular fly ash, which is formed during the combustion of solid fuel at coal-fired thermal power plants. The excess of ash and slag waste not only on the territory of the Russian Federation, but also on the lands of other countries leads to a deterioration of the environmental situation, as well as to the irrational use of natural resources. The low volume of consumption and utilization of ash substances contributes to the growth of the areas occupied by ash disposal areas, which also negatively affects the environmental situation. Within the framework of this work, the classification of ash and its components, which can be isolated by ash processing, is given. The elements that are separated when working with ash and slag waste have different properties and structure. Due to this, fly ash can be used in such spheres of life as construction production, road construction, agriculture and others. The considered possible ways of ash and slag waste disposal expand the boundaries of the use of ash in man-made human activity, which is a promising way to solve the problem posed in this paper. The article presents and analyzes the experience of using fly ash in different countries (near and far abroad), depending on the types of ash and the scope of their application. The main directions in the development of the ash and slag waste disposal industry are identified, aspects that positively affect the environmental situation in the world are noted and the predominant types of production and products using fly ash and its components are indicated.

Keywords: fly ash, fuel combustion, ash and slag waste, utilization of industrial waste.

Один из основных методов выработки электроэнергии в России – сжигание твердого топлива (уголь, сланцы, торф). Согласно данным 2020 г. на угольных ТЭС ежегодно образуется более 22 млн т золошлаковых отходов, в то время как уровень их потребления менее 4 % [1]. Это говорит о низком объеме утилизации сжигания твердого топлива, что является значимым вопросом в области экономии ресурсов. Остро стоящая на сегодняшний день проблема загрязнения окружающей среды и рационального использования природопользования может быть решена разного плана переработкой золошлаковых отходов.

Зола уноса – несгораемый остаток минерального происхождения, который представляет собой мелкодисперсный порошок с размером частиц мельче 0,16 мм. Его можно задействовать во многих отраслях промышленности. В зависимости от различных факторов и присущих ей свойств, зола уноса может использоваться в строительстве как добавка к цементу, бетону, вяжущим и теплоизоляционным материалам [2–13].

Целью исследования является проведение анализа технологий переработки золы уноса для того, чтобы уменьшить места размещения золошлаковых отходов, тем самым снижая загрязнение окружающей среды.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- дать классификацию золе уноса;
- рассмотреть возможные технологии утилизации золошлаковых отходов;
- провести анализ зарубежного опыта использования золы.

Получаемая после сжигания твердого топлива зола улавливается при помощи специальных электрофильтров и впоследствии или отбирается специальным отборником для производственных нужд в сухом состоянии, или отправляется на отвал вместе с получаемым попутно шлаком и водой. К основным параметрам классификации золы уноса относятся ее химический состав, фазовый минералогический состав, дисперсность (остаток на сите) и содержание несгоревших частиц углерода (потери при прокаливании) (рисунок).



Рис. Классификация золы уноса

На состав и строение золы влияют такие факторы, как:

- тип топлива и морфологические особенности
- тонкость помола;
- зольность топлива;
- температура в зоне сжигания;
- химический состав минеральных компонентов топлива;
- время горения частиц в заданной области.

Так, формирование силикатов, алюминатов и ферритов кальция происходит в связи с содержанием карбоната в минеральной доле первоначального топлива во время сгорания. Подобная зола при затворении способна схватываться и самостоятельно твердеть. Это обусловлено присутствием в ней окиси магния и кальция в свободном состоянии.

ГОСТ 25818-91 разделяет все золы в зависимости от сжигаемого угля:

- антрацитовая, если в качестве исходного топлива выступает антрацит, полуантрацит и тощий каменный уголь (А);
- каменноугольная, в которой в качестве топлива выступает каменный уголь (КУ);
- буроугольная – в качестве топлива, соответственно бурый уголь (Б).

По своему химическому составу золы разделяются на кислые, к которым относятся бурогольные, антрацитовые, каменноугольные (К) и основные (бурогольные с концентрацией оксида кальция $\geq 10\%$) (О).

Многофазным материалом является зола уноса, содержащая в себе высокий процент кальция в связи с появлением в ней вяжущих свойств, вне зависимости от концентрации отдельных компонентов в ней. Именно состав и соотношение фаз влияют на вяжущие свойства золы. Качественный фазовый баланс способствует улучшению химических и физических свойств материала и получению предельной гидравлической активности.

Основную категорию зол уноса в России составляют золы с высоким содержанием кальция, залежи которых составляют около 45 % всех золоотвалов на территории страны. К таким золам относятся золы Приволжского и Прибалтийского сланца, а также бурый уголь Канско-Ачинского района, произведенные на базе ТЭЦ Красноярска, Барнаула, Ачинска, Новосибирска и Омска. Сейчас в отвалах находится около 24 млн т зол. К примеру, одна только Новосибирская ТЭЦ ежедневно сбрасывает 200 т зольных отходов. Главное достоинство такого рода золы заключается в наличии в ней самостоятельно образующихся вяжущих свойств, которые присущи золе из-за наличия гипса и клинкерных минералов. Благодаря таким свойствам золы могут применяться в качестве замены части цемента в пенобетоне.

Кислые золы отличаются своим нестабильным химическим составом и, в противовес кальциевым золам, отсутствием вяжущих свойств. Однако такие свойства можно обнаружить при взаимодействии кислых зол с известью и цементом. Использование кислой золы в качестве кремнеземистого компонента при производстве ячеистого бетона часто позволяет облегчить процесс автоматического клавирования и заменить его пропариванием.

Золошлаки характеризуются сорбирующими свойствами и термической устойчивостью, это позволяет применять их как недорогие сорбенты паров азотной кислоты [14]. Более того, на поверхности золы уноса могут адсорбироваться тяжелые металлы, которые содержатся в естественных водоемах, такие как медь, цинк, хром. Все это в сумме позволяет использовать золу в целях очищения сточных и поверхностных вод.

В отношении золошлаковых отходов проведены исследовательские работы с точки зрения техногенных грунтов. В результате опытов выявлено, что они могут использоваться в качестве оснований зданий и сооружений, обладая для этого низкой степенью пучинистости [15–17].

Разновидностью золовых составляющих являются цеолиты, образующиеся путем синтеза золы уноса тепловых электростанций и обладающих адсорбционными свойствами [9]. Стоит отметить, что для отделения цеолитов от золы необходимо вводить в состав добавки. Так, при добавлении к летучей золе модифицированной сланцевой золы появляется возможность добычи цеолитного материала для адсорбции свинца, цинка и хрома [12].

Возможные технологии утилизации золошлаковых отходов

На сегодняшний день технологии изготовления современных и высококачественных строительных материалов могут базироваться на использовании многотонных отходов промышленного производства, например, металлургических шлаков и золы уноса ТЭС.

В целом использование золы возможно в трех направлениях:

- добавление в состав строительных материалов взамен части цемента;
- то же взамен части песка;
- в качестве самостоятельного компонента.

Образующиеся при сжигании на ТЭЦ зольные отходы можно утилизировать различными способами, в том числе и при производстве строительных материалов. Применение золы в составе разного рода строительных материалов способствует образованию химических реакций и взаимодействий, улучшающих характеристики производимых материалов [8].

Например, использование золы в технологии создания пенобетона предотвращает диффузию компонентов в пространстве путем повышения агрегатной устойчивости смесей в про-

межутке от начального до полного схватывания цементного теста. Еще одним достоинством применения золы в данном производстве является мелкодисперсный состав, который, в свою очередь, способствует образованию плотной упаковки частиц в межпоровой перегородке ячеистого бетона. В другом случае первичные продукты гидратации принимают гелеобразное состояние, появляются усадочные явления, что приводит к снижению прочности перегородки и, как следствие, к резкому падению прочностных характеристик пенобетона. Таким образом, изготовление мелких изделий на базе неавтоклавного пенобетона в соответствии с ГОСТ возможно при помощи разработанной технологии с добавлением модифицирующих добавок, а также использования специального оборудования. Более того, это позволяет экономить цемент при производстве ячеистого бетона более чем на 30 %.

Главным условием в производстве легких бетонов является получение их плотной структуры. Достижение такого результата создается посредством введения в керамзитобетонную смесь фракции до 1,2 мм на уровне 40 %, а в песчаной фракции – менее 0,15 мм (для половины частиц). По причине частых нарушений на производстве в виде внесения в конструкционно теплоизоляционный керамзитобетон обычного песка взамен керамзитового в качестве альтернативного варианта в легких бетонах используется зола, эффективно отражающаяся на свойствах получаемого материала.

Также зола нашла свое применение в производстве железобетонных конструкций, как сборных, так и монолитных. Внедрение компонентов в состав положительно отражается на структурообразовании, подвижности, скорости твердения и показателе прочности бетонной смеси.

Зольные вяжущие выступают хорошей заменой цемента в процессе производства строительных материалов гидротермального и влажно-воздушного твердения, таких как товарный бетон, всевозможные строительные растворы. К тому же зола уноса не снижает свойств материала, в состав которого она добавляется, поэтому она может быть применена в качестве добавки к цементу для приготовления спецбетонов, легких бетонных заполнителей.

Также применение зольных составляющих возможно не только в составе строительных материалов, но и в иных различных отраслях:

Одна из областей применения зольных добавок – сельское и лесное хозяйство. Отходы ТЭС содержат в себе ценные микроэлементы и оксиды, которые благоприятно влияют на водно-физические и агрохимические показатели почв. Более того, являясь неплохим калийным удобрением, зольные добавки повышают содержание обменного калия в почве [16; 17]. Внесение золы в почву (безусловно, в определенном количестве) содействует росту растений и повышает плодородность почвы. Все это в сумме позволяет использовать золу в качестве мелиорантов и удобрений для почв, а также в целях рекультивации земель.

Без внимания не осталось и дорожное строительство, где активно применяется зола и ее составляющие [7]. Зольные добавки используют для конструирования оснований дорожных покрытий, при проведении реконструкционных работ верхних слоев асфальта (в качестве фиксатора), в качестве компонента вяжущих материалов в целях укрепления грунтов, а также для планировки дорожных насыпей. При внедрении золы в дорожные покрытия и насыпи следует исходить из механических и климатических нагрузок, а также учесть возможное химическое воздействие золы на грунтовые воды.

Стоит отметить, что применение золы должно быть целесообразным, что, в свою очередь, основывается на технологических и физико-механических испытаниях. Более того, в процессе внесения золы в составы материалов и т.п. может появиться опасность ее распыления (уноса), потому необходимо учесть технологии пылеподавления, которые предотвращают загрязнение близлежащих территорий.

Как и при любом производстве, использование золы в составах материалов и в качестве добавок в грунт нормируется ГОСТ и ТУ, которые регламентируют следующие показатели качества: дисперсный и химический составы, насыпную плотность, наличие посторонних включений и т.д. Для регулирования необходимого процента содержания примеси золы в составах

и, соответственно, уровень качества производимых материалов, вводятся ограничения использования ЗМШ по факту их объема. Немаловажный фактор использования золы – ее дисперсный и химический состав, так как золы углей месторождений различаются между собой. Так, в том или ином производстве может быть использована только та часть золы, которая отвечает требованиям нормативной документации: соответствующая фракция должна проходить дополнительную подготовку на территории ТЭЦ либо в районе золоотвала (например, гидравлическое разделение, обезвоживание) [6].

Зарубежный опыт использования золошлаковых отходов

В настоящее время в России используется около 20 тыс. км² земли – территории Израиля и Словении – для хранения золошлаковых отходов. На отведенных площадях размещается от 1,3 до 1,5 млрд т продуктов сжигания угля, что превышает существующие нормативы по наполнению полигонов.

На переработку в строительную, дорожную и другие отрасли промышленного производства отправляется менее 10 % от общего числа образовавшихся отходов в России. В более эко-направленных странах перерабатывают от 70 до 95 % от количества отходов, а в Нидерландах – все 100 %. Лидером же переработки зольных отходов (в абсолютных цифрах объема) является Индия, на территории которой перерабатывается до 30 млн т ежегодно.

За последний годы в странах Скандинавии уровень конверсии золы уноса и других золошлаковых продуктов горения выведен на стопроцентный показатель. Европейская ассоциация по утилизации продуктов горения угля была основана в 1990 г., к настоящему времени в нее входит 28 энергетических компаний из 15 стран, которые выпускают 88 % материалов с применением золошлака (в Европейском союзе). Стоит отметить, что рост объемов переработки золошлаковых продуктов связан с введением политических директив, общих для всех стран Евросоюза. Данные законодательные акты регулируют объем и концентрацию выбросов в угольной промышленности.

Также в 2010 г. была создана Азиатская ассоциация угольной золы такими странами, как Индонезия, Китай, Австралия. На сайте Ассоциации регулярно публикуются принятые решения и отчетность, касаемая переработки золошлаковых отходов.

Что касается ближнего зарубежья, опыт применения золы с Дарханской ТЭС, расположенной в Монголии, показал, что, являясь высокоуглеродистыми, кислыми, малокальциевыми соединениями, золы обладают недостаточным сцеплением с грунтом. По этой причине в состав дорожных бетонов вводятся компоненты извести [20].

Внесение золы с ТЭС Забайкальского края в содержание цементогрунтов позволяет добиться эффективного композиционного материала, обладающего высоким показателем прочности для применения его в дорожном строительстве [24].

Также зола уноса может послужить материалом для минерального порошка при производстве асфальтобетона. Например, с зольными отходами Бишкекской ТЭЦ проведены исследования, по результатам которых установлено: асфальтобетонные смеси, изготовленные на основе золоотходов отвечают требованиям ГОСТ по своим физико-механическим характеристикам [5].

Одно из многообещающих направлений переработки отходов золы – это извлечение из них полезных металлов, например оксида алюминия. Впервые алюминий начали извлекать из отходов сжигания угля в начале второй половины XX в. в Польше. Первый завод в Польше был открыт в 1953 г., и он производил на тот момент 10 тыс. т алюминия и 100 тыс. т цемента, получаемых из золошлаков. Второй завод был построен спустя двадцать лет, и количество производимой продукции было уже в десять раз больше.

На сегодняшний день Китай энергично занимается извлечением алюминия из золы. Начатая в 2004 г. технология отделения компонента была запущена уже в 2012 г. под видом масштабного проекта в Тогто, где расположена самая крупная электростанция мира. Удовлетворение внутренних потребностей Китая в металле решено следующим путем: на стадии разработки

проекта производства алюминия, проектные показатели завода должны быть на уровне производства 240 млн т оксида алюминия в год, что является исходным продуктом для получения алюминия; также, согласно исходным данным, работа завода должна обеспечивать получение 200 млн т силиката кальция. На следующем этапе вышеупомянутые параметры планируется увеличить не менее чем в три раза.

Еще одним элементом, который возможно получить из золы, является уран. Технологию по его выделению продвигает компания Sparton Resources, к тому же уран дешевле оксида алюминия. В качестве сырья в экспериментах данной канадской компании выступает монгольский и китайский уголь.

В настоящий период существует пять преимущественных направлений переработки зол уноса: производство различных строительных материалов; применение в дорожном строительстве (улучшение оснований дорожного полотна); строительное производство; производство разного рода наполнителей; сельское и лесное хозяйство (стабилизаторы почвы). Именно поэтому одни из крупных потребителей золы на товарном рынке – это как раз индустрии строительства и промышленного производства строительных материалов. С экономической точки зрения путем использования золы уноса в вышеупомянутых областях их применения уменьшается себестоимость некоторых строительных материалов, таких как цемент, бетон, сухие строительные смеси, строительные растворы, примерно на 15–30 %. Что касается дорожного строительства, то снижается себестоимость автомобильных дорог при применении в земляном полотне золы.

Один из самых доступных вариантов переработки золыных отходов – внесение их в состав бетонной смеси в качестве наполнителя. Еще в начале 1930-х гг. профессор Р.Е. Дэвис (Америка) обнародовал мысль об использовании золы уноса для производства бетона. До 1946 г. ни в одной стране мира не было технологии и оборудования для улавливания золы. И в конце XX в. правительства наиболее развитых стран направили свои силы на изучение данной проблемы, тем самым доля переработки ЗШО в настоящий момент варьируется от 30 до 50 %.

Наиболее яркий пример использования золы в бетоне – возведенный небоскреб «Бурдж-Халифа» в ОАЭ (Объединенные Арабские Эмираты). В России здания с применением такого рода материалов строились с 50-х гг. прошлого века. Все это обусловлено низкой себестоимостью бетона за счет внедрения золы на стадии производства.

В нашей стране проблема утилизации золошлаковых отходов стоит очень остро, поэтому с недавнего времени создана государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики», в которой указаны основные показатели использования ЗШО в целях до 2030 г.

Выводы

На основании вышеизложенного можно сказать, что отходы золы тепловых электростанций представляют собой уникальный материал для использования в различных отраслях промышленности, в том числе в сфере строительства, в металлургии, в сельском хозяйстве и так далее, а из выделенных из них ценных компонентов можно получать и производить различные виды продукции.

Кроме того, внедрение отходов теплоэнергетики в промышленный оборот позволит не только уменьшить их количество на существующих золоотвалах, но и предупредить их накопление путем предотвращения появления новых объемов и создания новых площадок хранения отходов производства ТЭЦ. Вовлечение зол уноса в промышленную индустрию создаст безотходное производство и уменьшит нагрузку и воздействие топливно-энергетического комплекса на окружающую среду.

Список литературы

1. Таразанов И.Г., Губаев Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года // Уголь. – 2020. – № 3. – С. 54–69. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-3-54-69

2. Synthesis of nanoporous materials via recycling coal fly ash and other solid wastes: A mini review / Y.-R. Lee, J.T. Soe, S. Zhang, J.-W. Ahn, M.B. Park, W.-S. Ahn // *Chemical Engineering Journal*. – 2017. DOI: 10.1016/j.cej.2017.02.124
3. Fabrication of adiabatic foam at low temperature with sodium silicate as raw material / Y. Li, X. Cheng, W. Cao, L Gong, R. Zhang, H. Zhang // *Materials and Design*. – 2015. – P. 1008–1014.
4. Получение магнитных продуктов из золы уноса Каширской ГРЭС / Ю.В. Рябов, Л.М. Делицын, А.С. Власов, Ю.Н. Голубев // *Обогащение руд*. – 2013. – № 6.
5. Madanbekov N.J., Osmonova B.J. Application in asphalt concrete mixtures a mineral powder from an ash carryover from the thermoelectric power center of Bishkek city // *Vestnik KGUSTA*. – 2016. – P. 99–103.
6. Прокопец В.С. Производство высокопрочных минеральных вяжущих на основе ЗШО Омских ТЭЦ // *Расширение региональной сырьевой базы вовлечением в оборот золошлаковых материалов ТЭЦ ОАО «ТГК-11»*. – 2007. – С. 116–127.
7. Козлитин В.А. Ячеистый бетон из отходов – лидирующий материал для жилищного строительства // *Расширение региональной сырьевой базы вовлечением в оборот золошлаковых материалов ТЭЦ ОАО «ТГК-11»*. – 2007. – С. 74–92.
8. Успенский С.К. Переработка и подготовка золошлаковых материалов к использованию // *Расширение региональной сырьевой базы вовлечением в оборот золошлаковых материалов ТЭЦ ОАО «ТГК-11»*. – 2007. – С. 93–11.
9. Сиротюк В.В. Опыт и перспективы использования золошлаковых материалов в транспортном строительстве // *Расширение региональной сырьевой базы вовлечением в оборот золошлаковых материалов ТЭЦ ОАО «ТГК-11»*. – 2007. – С. 37–52.
10. Сокол Э.В., Максимова Н.В. Природа, химический и фазовый состав энергетических зол Челябинских углей. – Новосибирск, 2001. – 110 с.
11. Власова В.В. Разработка технологии комплексного извлечения полезных компонентов из золошлаковых отходов ТЭС Иркутской области: дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2005. – 182 с.
12. Виноградов Б.Н., Высоцкая О.Б. Методы оценки качества зол ТЭС // *Химия твердого топлива*. – 1990. – № 4. – С. 139–143.
13. Химическая технология неорганических веществ: лабораторный практикум / В.В. Коробочкин, Н.С. Крашенинникова, С.В. Эрдман, И.В. Фролова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 172 с.
14. Делицын Л.М., Власов А.С. Необходимость новых подходов к использованию золы угольных ТЭС // *Теплоэнергетика*. – 2010. – № 4.
15. Флотация углерода из золы уноса Каширской ГРЭС / Ю.В. Рябов, Л.М. Делицын, А.С. Власов, Т.И. Бородин // *Обогащение руд*. – 2013. – № 4.
16. Jambhulkar H.P., Shaikh S.M.S., Kumar M.S. Fly ash toxicity, emerging issues and possible implications for its exploitation in agriculture; Indian scenario: A review // *Chemosphere*. – 2018. – Vol. 213. – P. 333–344. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.045
17. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review / M. Basu, M. Pande, P.B.S. Bhadoria, S.C. Mahapatra // *Progress in Natural Science*. – 2009. – Vol. 19. – P. 1173–1186. DOI: 10.1016/j.pnsc.2008.12.006
18. Гребенщикова Е.А., Юст Н.А., Пыхтеева М.А. Влияние химической мелиорации путем внесения золошлаковых отходов на физико-химические свойства почвы // *Вестник КрасГАУ*. – 2016. – № 6. – С. 3–8.
19. Соловьев Л.П., Пронин В.А. Утилизация зольных отходов тепловых электростанций // *Современные наукоемкие технологии*. – 2011. – № 3. – С. 40–42.
20. Impacts of coal fly ash on plant growth and accumulation of essential nutrients and trace elements by alfalfa (*Medicago sativa*) grown in a loessial soil / H. He, Z. Dong, Q. Peng, X. Wang,

C. Fan, X. Zhang // *Journal of Environmental Management*. – 2017. – Vol. 197. – P. 428–439. DOI10.1016/j.jenvman.2017.04.028

21. Tripathi R.C., Mastro R.E., Ram L.C. Bulk use of pond ash for cultivation of wheat-maize-eggplant crops in sequence on a fallow land // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2009. – Vol. 54. – P. 134–139. DOI: 10.1016/j.resconrec.2009.07.009

22. Arputha S.S., Narayanasamy P. Bio-efficacy of flyash-based herbal pesticides against pests of rice and vegetables // *Current Science*. – 2007. – Vol. 92 (6). – P. 811–816.

23. Bagchi S.S., Jadhan R.T. Pesticide dusting powder formulation using flyash – A cost effective innovation // *Indian Journal of Environmental Protection*. – 2006. – Vol. 26 (11). – P. 1019–1021.

References

1. Tarazanov I.G., Gubaov D.A. Itogi raboty ugol'noj promyshlennosti Rossii za yanvar'-dekabr' 2020 goda [Results of the Russian coal industry in January-December 2020]. *Ugol'*, 2020, no. 3, pp. 54-69. doi: 10.18796/0041-5790-2020-3-54-69.

2. Lee Y.-R., Soe J.T., Zhang S., Ahn J.-W., Park M.B., Ahn W.-S. Synthesis of nanoporous materials via recycling coal fly ash and other solid wastes: A mini review. *Chemical Engineering Journal*, 2017, pp. 821-843. doi: 10.1016/j.ccej.2017.02.124

3. Li Y., Cheng X., Cao W., Gong L., Zhang R., Zhang H. Fabrication of adiabatic foam at low temperature with sodium silicate as raw material. *Materials and Design*, 2015, pp. 1008-1014.

4. Ryabov YU.V., Delicyn L.M., Vlasov A.S., Golubev YU.N. Poluchenie magnitnykh produktov iz zoly unosa Kashirskoj GRES [Obtaining magnetic products from fly ash of Kashirskaya GRES]. *Obogashchenie rud*, 2013, no. 6.

5. Madanbekov N.J., Osmonova B.J. Application in asphalt concrete mixtures a mineral powder from an ash carry-over from the thermoelectric power center of Bishkek city. *Vestnik KGUSTA*, 2016, pp. 99-103.

6. Prokopec V.S. Prizvodstvo vysokoprochnykh mineral'nykh vyazhushchih na osnove ZSHO Omskih TEC [Production of high-strength mineral binders based on ZSHO Omsk CHP]. *Rasshirenie regional'noj syr'evoy bazy vovlecheniem v oborot zoloshlakovykh materialov TEC OAO «TGK- 11»*, 2007, pp. 116-127.

7. Kozlitin V.A. YAcheistyj beton iz othodov – lidiruyushchij material dlya zhilishchnogo stroitel'stva [Cellular concrete from waste is a leading material for housing construction]. *Rasshirenie regional'noj syr'evoy bazy vovlecheniem v oborot zoloshlakovykh materialov TEC OAO «TGK- 11»*, 2007, pp. 74-92.

8. Uspenskij S.K. Pererabotka i podgotovka zoloshlakovykh materialov k ispol'zovaniyu [Processing and preparation of ash and slag materials for use]. *Rasshirenie regional'noj syr'evoy bazy vovlecheniem v oborot zoloshlakovykh materialov TEC OAO «TGK-11»*, 2007, pp. 93-111.

9. Sirotyuk V.V. Opyt i perspektivy ispol'zovaniya zoloshlakovykh materialov v transportnom stroitel'stve [Experience and prospects of using ash and slag materials in transport construction]. *Rasshirenie regional'noj syr'evoy bazy vovlecheniem v oborot zoloshlakovykh materialov TEC OAO «TGK-11»*, 2007, pp. 37-52.

10. Sokol E.V., Maksimova N.V. Priroda, himicheskij i fazovyj sostav energeticheskikh zol CHelyabinskikh uglej [Nature, chemical and phase composition of the energy ashes of Chelyabinsk coals]. *Novosibirsk*, 2001, 110 p.

11. Vlasova V.V. Razrabotka tekhnologii kompleksnogo izvlecheniya poleznykh komponentov iz zoloshlakovykh othodov TES Irkutskoj oblasti [Development of technology for complex extraction of useful components from ash and slag waste of the Irkutsk region thermal power plant]. *Dis. kand. tekhn. nauk. Irkutsk*, 2005, 182 p.

12. Vinogradov B.N., Vysockaya O.B. Metody ocenki kachestva zol TES [Methods for assessing the quality of TPP ash]. *Himiya tverdogo topliva*, 1990, no. 4, pp. 139-143.

13. Korobochkin V.V., Krashennnikova N.S., Erdman S.V., Frolova I.V. Himicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv: Laboratornyj praktikum [Chemical technology of inorganic substances: Laboratory workshop]. *Tomsk, Izdatel'stvo TPU*, 2004. 172 p.

14. Delicyn L.M., Vlasov A.S. Neobhodimost' novykh podhodov k ispol'zovaniyu zoly ugol'nykh TES [The need for new approaches to the use of ash from coal-fired thermal power plants]. *Teploenergetika*, 2010, no. 4.

15. Ryabov YU. V., Delicyn L.M., Vlasov A.S., Borodina T.I. Flotaciya ugleroda iz zoly unosa Kashirskoj GRES [Carbon flotation from fly ash of Kashirskaya GRES]. *Obogashchenie rud*, 2013, no. 4.

16. Jambhulkar H.P., Shaikh S.M.S., Kumar M.S. Fly ash toxicity, emerging issues and possible implications for its exploitation in agriculture; Indian scenario: A review. *Chemosphere*, 2018, vol. 213, pp. 333-344. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.045

17. Basu M., Pande M., Bhadoria P.B.S., Mahapatra S.C. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. *Progress in Natural Science*, 2009, vol. 19, pp. 1173-1186. doi: 10.1016/j.pnsc.2008.12.006

18. Grebenshchikova E.A., YUst N.A., Pyhteeva M.A. Vliyanie himicheskoy melioracii putem vneseniya zoloshlakovykh othodov na fiziko-himicheskie svoystva pochvy [The effect of chemical reclamation by the introduction of ash and slag waste on the physico-chemical properties of the soil]. *Vestnik KrasGAU*, 2016, no. 6, pp. 3-8.

19. Solov'ev L.P., Pronin V.A. Utilizaciya zol'nykh othodov teplovykh elektrostancij [Utilization of ash waste from thermal power plants]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2011, no. 3, pp. 40-42.

20. Ne N., Dong Z., Peng Q., Wang X., Fan S., Zhang X. Impacts of coal fly ash on plant growth and accumulation of essential nutrients and trace elements by alfalfa (*Medicago sativa*) grown in a loessial soil. *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 197, pp. 428-439. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.04.028

21. Tripathi R.C., Masto R.E., Ram L.C. Bulk use of pond ash for cultivation of wheat-maize-eggplant crops in sequence on a fallow land. *Resources, Conservation and Recycling*, 2009, vol. 54, pp. 134-139. doi: 10.1016/j.resconrec.2009.07.009

22. Arputha S.S., Narayanasamy P. Bio-efficacy of flyash-based herbal pesticides against pests of rice and vegetables. *Current Science*, 2007, vol. 92 (6), pp. 811-816.

23. Bagchi S.S., Jadhan R.T. Pesticide dusting powder formulation using flyash - A cost effective innovation. *Indian Journal of Environmental Protection*, 2006, vol. 26 (11), pp. 1019-1021.

Сведения об авторах

Бургутдинов Альберт Масугутович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: burgonutdinov.albert@yandex.ru).

Истомина Катарина Равилевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: istominakr@yandex.ru).

Хусаинова Ксения Аликовна (Пермь, Россия) – студент кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Ksuhusainova@yandex.ru).

About the authors

Albert M. Burgonutdinov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Highways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: burgonutdinov.albert@yandex.ru).

Katarina R. Istomina (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Highways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: istominakr@yandex.ru).

Kseniya A. Khusainova (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: Ksuhusainova@yandex.ru).

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90104.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 23.12.2021

Одобрена: 19.01.2022

Принята к публикации: 01.03.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Истомина, К.Р. Возможные технологии использования золы уноса / К.Р. Истомина, А.М. Бургутдинов, К.А. Хусаинова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 1. – С. 36–44. DOI: 10.15593/24111678/2022.01.05

Please cite this article in English as: Istomina K., Burgonutdinov A., Khusainova K. Possible technologies for using fly ash. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2022, no. 1, pp. 36-44. DOI: 10.15593/24111678/2022.01.05