

'stve [Methods of applying landscape planning tools in urban planning]. VestnikIrGTU, 2013, no 10, pp. 182 – 185.

17. Prelovskaya E.S., Levashev A.G. Sravnitel'nyy analiz klassifikatsionnykh sistem gorodskikh ulic Rossii i zarubezhnykh stran [Comparative analysis of classification systems of city streets in Russia and foreign countries]. Teoriya sovremennogo goroda: proshloe, nastoyashchee, budushchee [The theory of the modern city: the past, the present, the future]. Ekaterinburg. 2016. pp. 145 – 147.

18. Prelovskaya E.S. Gorodskaya mobilnost: sovremennyye podhodyi proektirovaniya UDS gorodov [Urban Mobility: Modern Approaches to the Design of Urban Cities]. Aviamashinostroyeniye i transport Sibiri [Aircraft and transportation of Siberia]. Irkutsk, IRNITU, 2016. pp. 166 – 170.

19. Prelovskaya E.S., Levashev A.G. Gorodskie bulvary – osobyiy vid obschestvennykh prostranstv i transportnykh kommunikatsiy. Sovremennyye tendentsii razvitiya gorodskikh system [City boulevards – a special kind of public spaces and transport communications. Modern trends in the development of urban systems]. materialy Mezhdunar.nauch. konf., posvyaschennoy 135-letiyu so dnya rozhdeniya prof., osnovatelya uralskoy arhitekturnoy shkoly K.T.Babiykina (22–23 oktyabrya 2015 g.). Ekaterinburg, Arhitekton, 2015. pp. 140 – 145.

20. VISUMPTV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/>. Дата обращения 20.11.2017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Преловская Евгения Сергеевна (г. Иркутск, Россия) – магистр градостроительства, инженер по организации и управлению на транспорте ООО «ЦТТ» (664049, г. Иркутск, м-н Юбилейный, 24-48, e-mail: jessprelove@gmail.com).

Prelovskaya Evgeniya Sergeevna (Irkutsk, Russian

Federation) – master of urban planning, transport engineer in ООО «ЦТТ» (664049, Russia, Irkutsk, mcr. Yubileyniy 24-48, e-mail: jessprelove@gmail.com).

Левашев Алексей Георгиевич (г. Иркутск, Россия) – магистр градостроительства, кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента и логистики на транспорте Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83 e-mail: alexey.levashev@tl-istu.com).

Levashev Alexey Georgievich (Irkutsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, ass.professor, department of transportation management and logistics, Irkutsk National Research Technical University (664074, Russia, Irkutsk, 83 Lermontov St., e-mail: alexey.levashev@tl-istu.com).

Михайлов Александр Юрьевич (г. Иркутск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры менеджмента и логистики на транспорте Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83).

Michaylov Aleksandr Uryievich (Irkutsk, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, department of transportation management and logistics, Irkutsk National Research Technical University (664074, Russia, Irkutsk, 83 Lermontov St.).

Барбара Энгель (г. Карлсруэ Германия) – доктор архитектуры, профессор кафедры международного градостроительства и дизайна Технического университета Карлсруэ (76131, Германия, Карлсруэ, Englerstraße 11, e-mail: barbara.engel@kit.edu).

Barbara Engel (av. Karlsruhe, Germany) – doctor of architecture, professor, department of international urban planning and design, KIT Karlsruhe Institute of Technology (76131, Germany, Karlsruhe, Englerstraße 11, e-mail: barbara.engel@kit.edu).

УДК 691.3.5:625.7:67.08

ВЛИЯНИЕ УГЛИСТЫХ ОСТАТКОВ НА КАЧЕСТВО ЗОЛОШЛАКОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.В. Сиротюк, Т.П. Троян
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

При сжигании каждой тонны угля образуется до 45 % золошлаковых отходов. Назначение допустимого количества углистых остатков, определяемых величиной потерь при прокаливании, является одним из дискуссионных вопросов при использовании золошлаков в растворах, бетонах, в качестве техногенного грунта и т.п. Некоторые исследования свидетельствуют, что эти остатки ухудшают качество золы. В других публикациях отмечается их малое влияние на свойства материалов.

В результате дифференциального термического анализа, метода низкотемпературной десорбции аргона, химических анализов установлено, что величина п.п.п. не может характеризовать пригодность золы для строительных целей, если при этом не учитываются такие характеристики углистых остатков как устойчивость к окислительному воздействию кислорода воздуха, воды, водных растворов щелочей и кислот. Опасность углистых остатков определяется не столько их количеством, сколько характеристиками углей, от которых они получены – содержанием в них витрена или фюзена.

Несмотря на то, что в процессе сгорания угольных частиц увеличивается удельная поверхность углистых (коксовых) остатков в золе (в 4-8 раз), содержание растворимой части в углистых (коксовых) остатках уменьшается (в 2-5 раз).

Допустимую величину потерь при прокаливании в золах следует назначать в зависимости от вида топлива, из которого она получена, степени его метаморфизма. Кроме этого, целесообразно дифференцировать допустимую величину потерь при прокаливании в зависимости от дисперсности золы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: топливные угли, зола-унос и золошлаковая смесь, допустимая величина потерь при прокаливании в золе для строительных технологий.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант No 16-48-550508 p_a). Научные исследования по теме «Результаты исследований деформационных характеристик золошлаковых смесей» выполнены за счёт средств бюджета Омской области.

ВВЕДЕНИЕ

подавляющее большинство тепловых электростанций (ТЭС) в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, некоторые ТЭС в европейской части России работают на каменных и бурых углях. В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2030 года, утверждённой распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. No 1715-р, эта тенденция сохранится на ближайшие десятилетия. При сжигании каждой тонны угля образуется от 10 до 45% золошлаковых отходов (ЗШО). ЗШО транспортируются в золоотвалы, образуя золошлаковую смесь (ЗШС). На территории РФ уже накоплено почти 1,6 млрд т ЗШС, а к 2030 г. (по оценкам экспертов Интер РАО ЕЭС) эта цифра достигнет 2,0 млрд. т. Только в г. Омске накоплено около 73 млн т ЗШС [1] и ежегодно эта цифра возрастает ещё на 1,6 млн т.

Согласно многочисленным исследованиям [2, 3] использование ЗШО возможно во многих отраслях промышленности. Это получение редкоземельных элементов [4], создание композитов с применением зол-уноса [5, 6], мелиорации почв, производство керамических изделий и кирпича, при катализе [7] и, конечно, в строительной индустрии [9-12]. Однако широкому использованию золошлаков в строительной отрасли мешает недостаточная изученность некоторых вопросов, например, назначение допустимой величины потерь при прокаливании (п.п.п.) является до настоящего времени одним из дискуссионных вопросов при использовании золошлаков в растворах, бетонах, в качестве техногенного грунта и т.п.

На всех современных ТЭС уголь сжигается в молотом пылевидном состоянии. В результате органическая часть углей в основном сгорает, а минеральные примеси аморфизуются от воздействия высокой температуры, улавли-

ваются и удаляются в виде тонкодисперсного порошка кремового или серого цвета – золы-уноса и шлака – пористого или плотного (рис. 1).

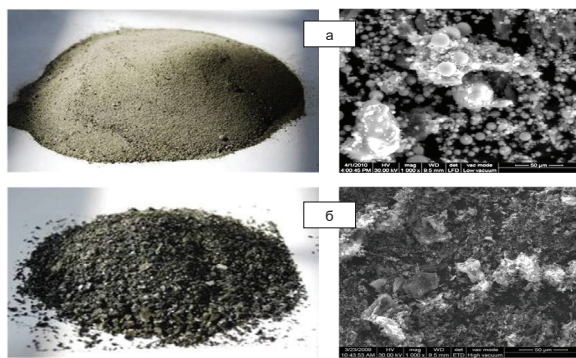


Рисунок 1 – Фотографии и микрофотографии золы-уноса (а) и шлака (б)
Illustration 1 – Photographs and microphotographs of fly ash (a) and slag (b)

В зависимости от вида угля, котлоагрегатов и режимов сжигания топлива в золе всегда присутствуют остатки несгоревшего топлива, количество которых определяют по величине потерь при прокаливании (п.п.п.). [13]. Величина п.п.п. в золе может изменяться от 2 до 25 % по массе. Некоторые исследования свидетельствуют [14, 15], что эти остатки ухудшают качество золы. В публикациях [16, 17] отмечается малое влияние п.п.п. золы на свойства материалов, в которых она используется. Таким образом, единого мнения о назначении допустимой величины п.п.п. пока нет. Российские строительные нормативы ограничивают эту величину от 5 до 20 %, зарубежные – от 3 до 10 %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Мы считаем, что анализируя степень негативного влияния п.п.п. в тех или иных случаях,

необходимо учитывать особенности углей, от которых эта зола получена. Величина п.п.п. не может охарактеризовать пригодность золы для строительных целей, если при этом не учитываются такие характеристики углистых остатков, как устойчивость к окислительному воздействию кислорода воздуха, воды, водных растворов щелочей и кислот. Опасность углистых остатков определяется не столько их количеством – т.е. величиной п.п.п., сколько характеристиками углей, от которых они получены. Этой точки зрения придерживается ряд авторов [18 – 20].

Свойства и промышленное качество ископаемых углей определяется следующими факторами [21]:

- природой и происхождением основной органической массы;
- метаморфизмом этой органической массы;
- минеральными примесями углей.

По генезису угли подразделяются на две большие группы – гумолиты и сапропелиты. Первые образовались путём накопления остатков высших растений и их превращениями, вторые – путём накопления и видоизменения микроорганизмов [21]. Постепенно процессы метаморфизма сопровождаются переходом горючего вещества из одной стадии в другую, а именно: торф, уголь бурый, уголь каменный, уголь антрацит. Всё многообразие петрографических характеристик углей можно свести к двум основным группам (без учёта промежуточных) [21, 22] – группа витрена и группа фюзена. Микрокомпоненты группы витрена образовались в условиях недостатка кислорода, в восстановительной среде и имеют бесструктурное строение. Компоненты группы фюзена образовались при окислении, приводящем к разрушению внутреннего строения клеток, но клеточная структура сохраняется. По степени зольности фюзен стоит на первом месте, и зола его представлена минеральными компонентами. Витрен менее зольный и даёт золу преимущественно растительного происхождения [22]. Опасными в смысле агрессивности и неустойчивости являются витренизированные микрокомпоненты.

Тепловая энергетика Сибири в основном развивается на Кузнецком, Экибастузском и Канско-Ачинском угольных месторождениях [1]. Угли Кузбасса имеют широкий диапазон изменения петрографических характеристик – от фюзеновой до витреновой. Канско-Ачинский бурый уголь является носителем витрена. Петрографический состав Экибастузских углей отличается повышенным содержанием

фюзена и самой большой величиной зольности (до 45 %). Таким образом, с точки зрения петрографических характеристик органической массы и устойчивости углистых остатков наиболее благоприятными должны быть золы Экибастузских углей.

В процессе термической обработки при сжигании угольных частиц в потоке раскалённых газов с температурой в факеле до 1400 – 1600°C они претерпевают значительные изменения с протеканием пиропластических процессов. Петрографический анализ показывает, что собственно угля в золе не содержится. Имеющиеся углистые примеси представлены коксовыми и полукоксовыми остатками различной степени метаморфизма [21]. Этот вывод важен, поскольку коксовые остатки более стабильны в процессе окисления. Это подтверждается нашими экспериментальными данными (рис.2, 3).



Рисунок 2 – Действительная удельная поверхность (по десорбции аргона):
1 – Экибастузский; 2 – Канско-Ачинский; 3 – Кузнецкий
Illustration 2 – The actual specific surface area (by desorption of argon):
1 – Ekibastuz; 2 – Kansk-Achinsk; 3 – Kuznetsky

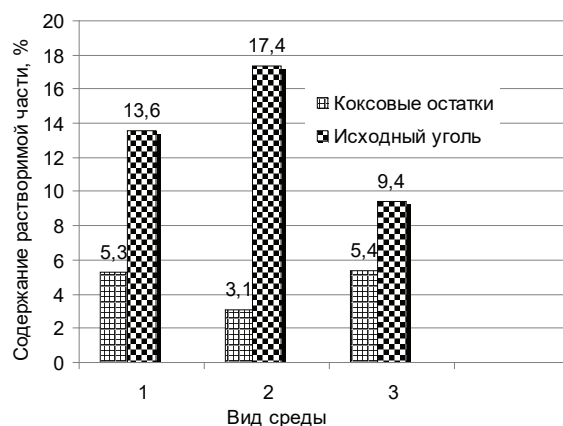


Рисунок 3 – Содержание растворимой части (Экибастузский уголь):
1 – нейтральная среда; 2 – кислая; 3 – щелочная
Illustration 3 – Soluble content (Ekibastuz coal):
1 – neutral medium; 2 – acid; 3 – alkaline

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

В процессе сгорания угольных частиц значительно увеличивается удельная поверхность углистых (коксовых) остатков в золе (в 4-8 раз). Это объясняется удалением из угля лёгких органических микроэлементов. Если угольные частицы имеют сплошную структуру, то частицы коксового остатка поризованы (рис.4).

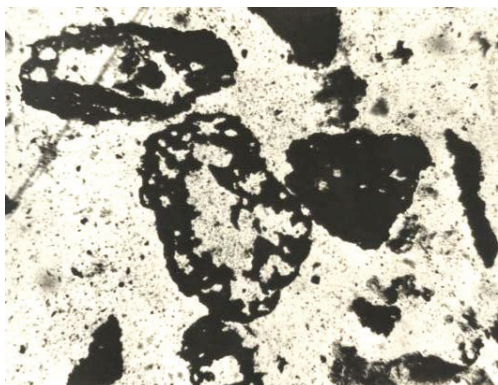


Рисунок 4 – Микрофотография частиц углистого (коксового) остатка из золы (ув.х300)
Illustration 4 – Micrograph of particles of a carbonaceous (coke) residue from ash (uh.x300)

Несмотря на значительное увеличение удельной поверхности частиц после термического воздействия, содержание растворимой части в углистых (коксовых) остатках уменьшается в несколько раз (см. рис.3).

Известно, что в золах присутствуют два вида углистых остатков – низкотемпературная фракция, выгорающая при температуре прокаливании до 500°C, и высокотемпературная, удаляющаяся при более высокой температуре.

Более опасны низкотемпературные углистые остатки. Они обладают повышенной способностью впитывать влагу, изменяясь при этом в объёме. Следствием этого является пониженная морозостойкость образцов с цементным вяжущим [23] и повышенная величина морозного пучения золошлаковой смеси [24].

В соответствии с ГОСТ 11022 величину п.п.п. в золе определяют при нагреве образцов до 815°C независимо от вида угля и степени его метаморфизма. Как показали наши исследования (рис.5), температура прокаливании существенно влияет на величину п.п.п. золы.

Основная масса углистых остатков в золе Экибастузского и Кузнецкого углей удаляется при температуре выше 500°C (до 90 %). Следовательно, углистые остатки в этих золах относятся к высокотемпературной фракции. Процесс потери массы золы Канско-Ачинского угля более растянут по диапазону температурной обработки, и разделяется на два этапа – до и после 500°C (40 и 45 % соответственно).

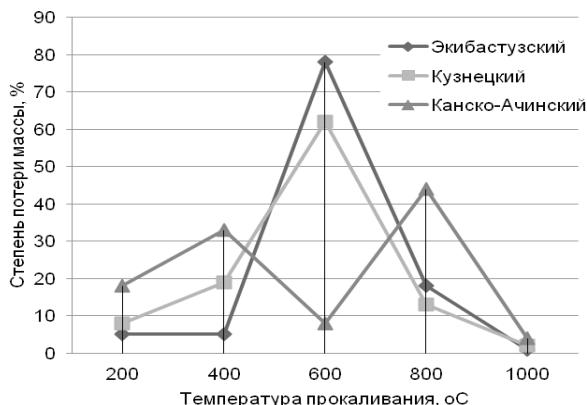


Рисунок 5 – Зависимость степени выгорания углистых остатков от температуры термообработки золы от разных углей
Illustration 5 – Dependence of burnout of carbonaceous residues from the temperature of ash heat treatment from different coals

На рис.6 представлены термограммы исходного Экибастузского угля и золы разной дисперсности, отобранной с циклонов и электрофильтров (предельная температура 800°C, скорость нагрева 5°C в минуту). Циклоны реализуют первую ступень улавливания золы из дымовых газов на ТЭС – зола более крупная. Электрофильтры применяют для второй ступени улавливания – дисперсность золы увеличивается от первого к четвёртому полю электрофильтров.

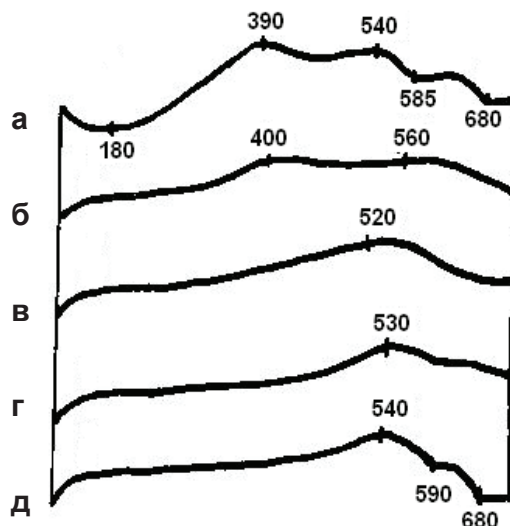


Рис.6. Термограммы: а – Экибастузского угля; б – циклонной золы; в – золы со второго поля электрофильтра; г – золы с третьего поля; д – Экибастузского угля, предварительно прокаленного при 450°C
Illustration 6 – а – Ekibastuz coal; б – cyclone ash, в – ash from the second field of the electrostatic precipitator; г – ash from the third field; д – Ekibastuz coal pre-calcined at 450 °C

На термограмме угля имеется эндотермический эффект удаления гигроскопической влаги (180°C), а также два экзотермических эффекта при 390°C и 540°C. Первый из них относится к удалению летучих компонентов низкотемпературной фракции органической части угля, второй – к удалению высокотемпературной составляющей. Температурные эффекты при 585°C и 680°C характерны для каолина, составляющего минеральную часть Экибастузского угля.

На термограмме циклонной золы остаются небольшие экзотермические эффекты при 400°C и 560°C. Обе пробы золы, отобранные с электрофильтров имеют один эффект в области 520°C – 550°C. Наличие экзотермического эффекта при 400°C у циклонной золы объясняется содержанием в ней небольшого количества не полностью выгоревшей низкотемпературной фракции углистых остатков. У электрофильтровой золы и пробы прокаленного угля установлено присутствие только высокотемпературной фракции углистых остатков.

ВЫВОДЫ

1. Допустимую величину п.п.п. в золах следует назначать в зависимости от вида топлива, из которого она получена, степени его метаморфизма. Самый низкий предел п.п.п. необходимо определить для зол от сжигания торфа и бурых углей. Более высокий – для золы каменных углей, ещё больше – для антрацитов. Это положение удалось реализовать в разработанном нами ОДМ 218.2.031-2013 Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве.

2. Целесообразно дифференцировать допустимую величину п.п.п. в зависимости от дисперсности золы. Более мелкие фракции могут иметь большее значение допустимой величины п.п.п. Это положение пока не реализовано в нормативно-методических документах в области строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бирюков В.В., Метелев С.Е., Сиротюк В.В., Шевцов В.Р. Энергопроизводство и утилизация золошлаковых отходов // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета. М. 2008. № 2. С.221 – 229.
2. Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование // Материалы II Международного научно-практического семинара. М. : издательский дом МЭИ, 2009. 212 с.
3. Пантелеев В.Г., Мелентьев В.А., Добкин Э.Л. Золошлаковые материалы и золоотвалы. М. : Энергия, 1978. 295 с.
4. Folgueras M.B. Coal and sewage sludge ashes as

sources of rare earth elements // M.B. Folgueras, M. Alonso, F.J. Fernández. Fuel, 2017. Vol. 192. Pp. 128-139.

5. Барахтенко В.В. Оценка потребительских характеристик изделий из высоконаполненного полимерно-минерального композиционного материала на основе поливинилхлорида и отходов ТЭС // Инженерно-строительный журнал. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2014. № 3. С.17 – 24.

6. Бурдонов А.Е., Барахтенко В.В., Зелинская Е.В., Сутурина Е.О. Физико-механические характеристики композиционных материалов на основе отходов производства с различными рецептурами // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 9(35). С. 14 – 22.

7. Yao Z.T., Ji X.S., Sarker P.K., Tang J.H., Ge L.Q., Xia M.S., Xi Y.Q. A comprehensive review on the applications of coal fly ash // Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 141. Pp. 105-121.

8. Волженский А.В., Иванов И.А., Виноградов Б.Н. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М. : Стройиздат, 1984. 255 с.

9. Sushovan D., Nadaf M.B., Mandal J.N. An Overview on the Use of Waste Plastic Bottles and Fly Ash in Civil Engineering Applications // Procedia Environmental Sciences. 2016. Vol. 35. Pp. 681-691.

10. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. № 4. С.16 – 21.

11. Личман Н.В. Применение серы и золы ТЭЦ Норильского региона при строительстве и реконструкции гидротехнических сооружений // Инженерно-строительный журнал. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. № 8. С.29 – 34.

12. Baykala G., Edinçlilerb A., Saygılı A. Highway embankment construction using fly ash in cold regions // Resources, Conservation and Recycling. 2004. Vol. 42, pp. 209-222.

13. ГОСТ 11022-95 Топливо твердое минеральное.

14. Сергеев А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности. Киев : Будівельник, 1986. 133 с.

15. Бабачёв Г.Н. Золы и шлаки в производстве строительных материалов. Киев : Будівельник, 1987. 120 с.

16. Казанский В.М., Бондарев Г.Н., Гусан Ю.Г., Красильникова З.С. Использование в бетонах зол ТЭС, содержащих несгоревшие частицы топлива // Энергетического строительства. 1990. № 9. С. 35 – 37.

17. Бурминский Н.И. Комплексное укрепление песков цементом с добавкой золы-уноса //Сб. науч. тр. Местные материалы в дорожном строительстве юга РСФСР. Ростов – на Дону. 1972. С.59 – 66.

18. Иванов Н.А. Лёгкие бетоны на основе зол электростанций. М. : Стройиздат, 1972. 136 с.

19. Попов Н.А., Иванов И.А. Характеристика несгоревших частиц в золах ТЭЦ // Труды Академии строительства и архитектуры СССР. Западносибирский филиал. Вып. 5. 1961. С.18 – 26.

20. Федьнин Н.И. Об особенностях несгоревшего топлива в золах ТЭЦ и его влиянии на свойства золобетонов // Строительные материалы. 1963. № 4. С. 9 – 12.

21. Жемчужников Ю.А. Общая геология ископаемых углей. М. : Геоиздат, 1948. 344 с.

22. Гапеев А.А. Твёрдое горючее ископаемое. М. : Геоиздат, 1949. 298 с.

23. Сарапин И.Г. Применение зол ТЭС в производстве керамзитобетонных стеновых панелей // Сб. науч. тр. Совершенствование производства пористых заполнителей и лёгких бетонов на их основе. М.: Знание, 1972. С.112 – 118.

24. Иванов Е.В. Обоснование применения золошла-

ковых смесей для строительства земляного полотна с учетом водно-теплового режима: дис. ... канд. техн. наук:

26.02.15 : защищена 26.02.2015 : утв. 01.07.2015 / Е.В. Иванов; науч. рук. проф. В.В. Сиротюк. Омск. 2015. 165 с.

THE CARBON RESIDUUM INFLUENCE ON THE ASHES SLAG'S QUALITY USED IN THE CONSTRUCTION TECHNOLOGY

V.V. Sirotyuk, T.P. Trojan

ANNOTATION

About 45% of the ashes slag is formed by the burning process. The carbon residuum's destination is the main problem question while using the slag in the solution and in the concrete as the technogenic ground and so on. Some researches show that such residuum worsen the slag's quality. But other researches present their minimal influence on the material properties.

On the results of the thermal analysis, the low-temperature desorption argon's method and chemical analysis, it is concluded that the p.p.p. size couldn't characterize ashes' appropriateness for the construction purposes, while such carbon residuum characteristics as corrosion stability to the water, air, alkali and acidity are not considered. The danger of the carbon residuum is determined not by their quantity, but by their quality.

Despite of the carbon particles' increasing to the 4-8 one in the carbon residuum while the burning process, the maintenance of the soluble part decrease to the 2-5 ones.

KEYWORDS: fuel coal, ashes slag, possible loss size, construction technologies.

REFERENCES

1. Birjukov V.V., Metelev S.E., Sirotyuk V.V., Shevcov V.R. Jenergoпроизводство i utilizacija zoloshlakovyh othodov [Energy production and utilization of ash and slag wastes]. Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo trgovojekonomicheskogo universiteta. Moscow, 2008, no 2, pp. 221 – 229.

2. Zoloshlaki TJeS: udalenie, transport, pererabotka, skladirovanie [Ash-slag of TPP: removal, transportation, processing, storage]. Materialy II Mezhdunarodnogo nauchno-prkticheskogo seminar. Moscow, izdatel'skij dom MJeI, 2009. 212 p.

3. Panteleev V.G., Melent'ev V.A., Dobkin Je.L. Zoloshlakovyje materialy i zolootvaly [Ash-and-slag materials and ash dumps]. Moscow, Jener-gija, 1978. 295 p.

4. Folgueras M.B. Coal and sewage sludge ashes as sources of rare earth elements // M.B. Folgueras, M. Alonso, F.J. Fernández. Fuel, 2017. Vol. 192. pp. 128 – 139.

5. Barahtenko V.V. Ocenka potrebitel'skikh harakteristik izdelij iz vysokonapolnennogo polimerno-mineral'nogo kompozicionnogo materiala na osnove polivinilhlorida i othodov TJeS [Evaluation of consumer characteristics of products from a highly-filled polymer-mineral composite material based on polyvinylchloride and TPP waste]. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. SPb, Izd-vo Politehn. un-ta, 2014, no 3, pp.17 – 24.

6. Burdonov A.E., Barahtenko V.V., Zelinskaja E.V., Sutura E.O. Fiziko-mehaničeskie harakteristi-ki kompozicionnyh materialov na osnove othodov proizvodstva s razlichnymi recepturami [Physicomechanical characteristics of composite materials based on waste products with various formulations]. Inzhener-no-stroitel'nyj zhurnal, 2012, no 9(35), pp. 14 – 22.

7. Yao Z.T., Ji X.S., Sarker P.K., Tang J.H., Ge L.Q., Xia M.S., Xi Y.Q. A comprehensive review on the applications of coal fly ash // Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 141. pp. 105 – 121.

8. Volzhenskij A.V., Ivanov I.A., Vinogradov B.N. Primenenie zol i toplivnyh shlakov v proizvodst-ve stroitel'nyh materialov [Use of fly ash and fuel slag in the production of building materials]. Moscow, Strojizdat, 1984. 255 p.

9. Sushovan D., Nadaf M.B., Mandal J.N. An Overview on the Use of Waste Plastic Bottles and Fly Ash in Civil Engineering Applications // Procedia Environmental Sciences. 2016. Vol. 35. pp. 681 – 691.

10. Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lahtinen P. Primenenie zol i zoloshlakovyh othodov v stroitel'stve [Application of ash and ash and slag wastes in construction]. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, SPb, Izd-vo politehn. un-ta, 2011, no 4, pp.16 – 21.

11. Lichman N.V. Primenenie sery i zoly TJeC Noril'skogo regiona pri stroitel'stve i rekonstruk-cii gidrotehnicheskikh sooruzhenij [Norilsk region in the construction and reconstruction of hydraulic structures]. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, SPb, Izd-vo politehn. un-ta, 2011, no 8, pp.29 – 34.

12. Baykala G., Edinçililerb A., Saygıla A. Highway embankment construction using fly ash in cold regions // Resources, Conservation and Recycling. 2004. Vol. 42, pp. 209 – 222.

13. Toplivo tverdoe mineral'noe [Solid mineral fuel]. GOST 11022-95

14. Sergeev A.M. Ispol'zovanie v stroitel'stve othodov jenergetičeskoj promyshlennosti [Utilization of energy industry waste in construction]. Kiev, Budivel'nik, 1986. 133 p.

15. Babachjov G.N. Zoly i shlaki v proizvodstve stroitel'nyh materialov [Ash and slag in the production of building materials]. Kiev, Budivel'nik, 1987. 120 p.

16. Kazanskij V.M., Bondarev G.N., Gusan Ju.G., Krasil'nikova Z.S. Ispol'zovanie v betonah zol TJeS, soderzhashhih nesgorevshie chastyцы topliva [Use in concrete of ashes of TPPs containing unburned fuel particles]. Jenergetičeskogo stroitel'stvo, 1990, no 9, pp. 35 – 37.

17. Burminskij N.I. Kompleksnoe ukreplenie peskov cementom s dobavkoj zoly-unosa [Комплексное укрепление песков цементом с добавкой золы-уноса]. Sb. nauch. tr. Mestnye materialy v dorozhnom stroitel'stve juga RSFSR, Rostov – na Donu, 1972. pp.59 – 66.

18. Ivanov N.A. Ljogkie betony na osnove zol jelektrostantsij [Lightweight concretes based on the ashes of power plants]. Moscow, Strojizdat, 1972. 136 p.

19. Popov N.A., Ivanov I.A. Harakteristika nesgorevshih chastyцы v zolah TJeC [Characteristics of unburned particles in the ash of CHPP]. Trudy Akademii stroitel'stva i arhitektury

