

УДК 691.168:625.855.3+ 658.567.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-160-169

*В.Н. ЛУКАШЕВИЧ, О.Д. ЛУКАШЕВИЧ, Р.И. МОКШИН,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОЛЫ-УНОСА ГИДРОУДАЛЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД, УКРЕПЛЕННЫХ БИТУМОМ

Аннотация. Обоснован один из путей совместного решения двух важнейших экологических проблем, возникающих на современном этапе развития и функционирования теплоэнергетического комплекса. Первой из таких проблем является ликвидация золоотвалов, образующихся при сжигании углей. Вторая проблема – утилизация волокнистых сорбентов, отработавших свой ресурс при ликвидации аварийных разливов нефти, нефтепродуктов, нефтяных и сланцевых смол, каменноугольных фусов.

Показано, что при устройстве оснований дорожных одежд могут быть использованы мелкодисперсные золы гидроудаления и асфальтобетонные композиции, армированные отрезками химических волокон, полученных из отработавших свой ресурс волокнистых сорбентов. При этом происходит улучшение ряда свойств золы-уноса гидроудаления и нейтрализация содержащихся в ней полуторных оксидов, являющихся катализаторами старения нефтяного битума.

Экспериментально установлено, что предложенные технологические решения приводят к снижению индекса битумоемкости золы-уноса гидроудаления, повышению средней плотности, снижению пористости, истинной плотности. Это позволяет использовать ее при устройстве укрепленных оснований дорожных одежд без увеличения расхода нефтяного битума. Содержащиеся в нефтепродуктах высокоактивные компоненты нейтрализуют способность полуторных оксидов ускорять процесс старения нефтяных битумов, что подтверждено методом ИК-спектроскопии.

Ключевые слова: утилизация отходов, зола-унос, золоотвал, дисперсная арматура, волокнистые сорбенты, основание дорожной одежды, пористость, средняя плотность, битумоемкость, старение органического вяжущего, полуторные оксиды

Для цитирования: Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мокшин Р.И. Модифицирование физико-химических свойств золы-уноса гидроудаления для использования в составе дисперсно-армированных оснований дорожных одежд, укрепленных битумом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 6. С. 160–169.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-160-169

*V.N. LUKASHEVICH, O.D. LUKASHEVICH, R.I. MOKSHIN,
Tomsk State University of Architecture and Building*

MODIFICATION OF FLY ASH PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES FOR USING IN DISPERSION-HARDENED BITUMEN-BASED PAVEMENT

Abstract. One of the ways is substantiated to solve the most important environmental problems currently arising in the development and functioning of the heat and power complex. The first is the elimination of fly ash dumps formed during coal combustion. The second is utiliza-

tion of fibrous sorbents exhausted during the elimination of emergency oil spills, products, shale tars, coal fuses. It is shown that fine ash and asphalt-concrete compositions reinforced with chemical fibers obtained from end-of-life fibrous sorbents, can be used in the pavement construction. The number of properties of hydraulic fly ash and neutralization of sesquioxides contained in them are improved. The latter are catalysts for oil bitumen aging. It is shown that the proposed solutions lead to a decrease in the bitumen content in the fly ash, increase in average density, decrease in porosity and true density. This provides its use in construction of reinforced pavements without increasing the oil bitumen consumption. Highly active components contained in petroleum products neutralize the ability of sesquioxides to accelerate the aging process of petroleum bitumen, which is confirmed by IR spectroscopy.

Keywords: waste disposal, fly ash, ash dump, dispersed reinforcement, fibrous sorbents, pavement, porosity, average density, bitumen content, organic binder aging, sesquioxides

For citation: Lukashevich V.N., Lukashevich O.D., Mokshin R.I. Modifitsirovanie fiziko-khimicheskikh svoistv zoly-unosa gidroudaleniya dlya ispol'zovaniya v sostave dispersno-armirovannykh osnovanii dorozhnykh odezhd, ukreplennykh bitumom [Modification of fly ash physicochemical properties for using in dispersion-hardened bitumen-based pavement]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 6. Pp. 160–169.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-6-160-169

Последние десятилетия экономика страны характеризуется в числе прочих такими взаимосвязанными тенденциями: ростом энергопотребления, развитием нефтегазового комплекса, прогрессом в строительной отрасли, как следствие – вниманием к обеспечению экологической безопасности. Это отражается в многочисленных государственных программах, национальных проектах, нормативно-правовых документах. Актуальной проблеме поиска способов уменьшения количества отходов производства путем применения их в качестве сырья в дорожном строительстве посвящено данное исследование.

Среди задач, поставленных Правительством России в 2012 г. в документе «Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года» [1], важное место занимают следующие: внедрить экологически эффективные инновационные технологии; предотвратить и снизить текущее негативное воздействие на окружающую среду; восстанавливать естественные экологические системы, нарушенные в процессе производственной деятельности; обеспечивать экологически безопасное обращение с отходами.

Топливо-энергетическая отрасль страны, действуя в соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» [2], определяет в качестве основных государственно значимых задач «...внедрение экологически эффективных инновационных технологий; предотвращение и снижение текущего негативного воздействия на окружающую среду; восстановление нарушенных естественных экологических систем; обеспечение экологически безопасного обращения с отходами...».

При производстве тепловой и электрической энергии путем сжигания углей образуется огромное количество отходов в виде золошлаковых смесей, представляющих собой минеральную, несгорающую фракцию углей. Часть

этих отходов улавливается и собирается в бункерах системами пневмозолоудаления, образуя золы сухого отбора. Но основная часть (более 90 %) с помощью комплекса гидравлического золошлакоудаления направляется в золошлакоотвалы [3].

В России золошлаковые отходы преобладают в общем нарастающем объеме накопленных производственных отходов и составляют по массе около 90 млн т в год. Общий объем золошлаковых материалов, накопленных за прошлые годы в нашей стране, превысил 2 млрд т [4]. К основным воздействиям золошлакоотвалов, отрицательно влияющим на окружающую среду, следует отнести:

- отчуждение земель и изъятие из сельскохозяйственного оборота огромных территорий;
- пылеобразование (особенно в летний период), особенно опасное вблизи рекреационных территорий;
- фильтрация пульповой воды, обогащенной растворимыми токсичными зольными компонентами в подземные горизонты грунтовых вод;
- загрязнение окружающих земель тяжелыми металлами и токсичными элементами, что приводит к сокращению видов биоты;
- падение плодородия почв и урожайности растений;
- деформации поверхности территории и изменение рельефа.

Особенно остро проблема золоотвалов ощущается там, где изначально ТЭЦ были построены за пределами городов, а теперь находятся в городской черте (в Западной Сибири это города Белово, Кемерово, Новосибирск, Томск).

Для обеспечения эффективной работы ТЭК, снижения техногенного прессинга на окружающую среду в мировой практике набирает темпы их утилизация (100 % – в Нидерландах и Дании, 90 % – в Финляндии, 70 % – в Германии и Франции) [4, 5].

Дорожно-строительная индустрия России испытывает огромные потребности в сырьевых материалах. Для устройства одного километра автомобильной дороги (в зависимости от ее категории и местных условий) требуются тысячи тонн грунта, песка, щебня и др., которые могут быть частично заменены отходами [6].

В целях обеспечения экономической целесообразности и экологической безопасности в России применение золы-уноса регламентируется рядом нормативных документов, например: ГОСТ 530–2007, ГОСТ 9128–97, ГОСТ 9757–90, ГОСТ 10178–85, ГОСТ 17608–91, ГОСТ 20910–90, ГОСТ 22266–94, ГОСТ 23558–94, ГОСТ 26644–85, ГОСТ 28013–98, ГОСТ 30491–97, ГОСТ 31108–2003 и др. В соответствии с этими нормативными документами разработаны и в различных масштабах применяются следующие основные направления полезного использования золы-уноса [7–13]:

- сооружение дорог и дамб при устройстве золошлакоотвалов;
- в дорожном строительстве (возведение земляного полотна автомобильных и железных дорог, устройство дополнительных слоев дорожных одежд, устройство оснований дорожных одежд, в том числе укрепленных вяжущими материалами, применение в составе органоминеральных смесей);
- для приготовления различного вида цементобетонных смесей;
- в составе сырья для производства цемента;
- для производства сухих строительных смесей.

Однако зола-унос гидроудаления обладает свойствами, которые не позволяют использовать ее в дорожном строительстве без дополнительных подготовительных мероприятий. К таким свойствам относится высокая пористость, достигающая более 45 %, и довольно значительное содержание полуторных оксидов (Al_2O_3 содержится в пределах 9–37 %, а Fe_2O_3 – от 4 до 17 %). Повышенная пористость золы-уноса гидроудаления приводит к тому, что при ее использовании в составе органоминеральных смесей возрастает расход органических вяжущих. Полуторные оксиды, являясь катализаторами старения нефтяных битумов, приводят к ускоренному старению конструктивных слоев дорожных одежд, устроенных с использованием золы-уноса гидроудаления. Чтобы устранить отрицательное влияние указанных выше факторов, применяют следующие технологические приемы, воздействующие на физико-химические характеристики зольных частиц: золу-унос подвергают дополнительному помолу, осуществляют предварительную гидрофобизацию, производят кольтматацию пор специальными добавками. Эти операции являются дополнительными и приводят к повышению стоимости использования золошлаковых смесей.

В настоящей работе рассматривается возможность утилизации в дорожном строительстве еще одного отхода – отработанных полимерных волокнистых сорбентов, применяющихся для сбора нефти и нефтепродуктов с водных поверхностей. Такие сорбенты нашли широкое использование в виде бонов и волокнистых матов, обладающих гидрофобными и лиофильными свойствами, для локализации и ликвидации аварийных разливов нефти, нефтепродуктов, фусов [14–16]. После пятидесяти циклов поглощения-центрифугирования сорбенты подлежат утилизации путем захоронения и сжигания. Оба эти метода нельзя считать экологически обоснованными, поскольку наносят окружающей среде существенный вред. Следовательно, требует решения проблема утилизации отработавших свой ресурс полимер-волокнистых сорбентов.

Решение каждой из указанных проблем в отрыве от решения остальных проблем возможно, но требует существенных финансовых затрат. Комплексное их решение позволит существенно снизить затраты и даже достичь синергетического эффекта, что показано ниже.

Одним из вариантов комплексного решения указанных проблем является совместное использование в дорожном строительстве золы-уноса гидроудаления и отработанных волокнистых сорбентов для устройства дисперсно-армированных оснований дорожных одежд, укрепленных нефтяным битумом. Предлагаемое решение позволяет убрать золоотвалы, свести к нулю затраты на их содержание, ликвидировать опасность прорыва дамб, вернуть в землепользование порядка 20 тыс. км² территорий.

Главным преимуществом такого технического решения является то, что в результате его реализации возникает возможность улучшения свойств золы-уноса гидроудаления – снижаются ее битумоемкость, пористость и истинная плотность, повышается средняя плотность, нейтрализуются полуторные оксиды как катализаторы старения нефтяных битумов. При этом уменьшается острота проблемы нехватки материалов для строительства и решается проблема утили-

зации полимерных волокнистых сорбентов, отработавших свой ресурс при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, фусов, паст и шламов.

Дисперсная арматура, полученная путем резки полимерных волокнистых сорбентов, используемая в составе укрепленных битумом оснований дорожных одежд, содержит регулируемое количество поглощенной нефти, нефтепродуктов, фусов, масел и смол, способных производить модифицирование поверхности минеральных материалов, в том числе золы-носа гидроудаления. При этом отрезки волокон, выполняющие роль дисперсной арматуры, улучшают показатели реологических и физико-механических свойств слоя основания дорожной одежды, а содержащееся в сорбентах регулируемое количество поглощенной нефти, фусов, либо других видов углеводородного сырья модифицирует поверхности частиц золы-уноса, колюматрирует поры, улучшает свойства золы, снижает интенсивность избирательной фильтрации компонентов нефтяного битума, улучшая его свойства в адсорбционном слое. Содержащиеся в сорбентах поглощенные нефть, фусы, смолы, имея в своем составе активные вещества (карбоновые кислоты, кетоны и др.), реагируют с полутонкими оксидами и нейтрализуют их как катализаторы старения нефтяного битума.

Указанные физико-химические процессы могут иметь место только при определенной технологии производства материала укрепленного основания дорожной одежды, которая должна предусматривать введение дисперсной арматуры в золу-унос, перемешивание, а затем введение в полученную смесь нефтяного битума.

Проверка выдвинутых предположений осуществлялась в ходе экспериментальных исследований, в которых были использованы золы-уноса гидроудаления тепловых электростанций г. Кемерово и сланцевая смола, выделенная из полимерволокнистых сорбентов, которые применялись при ликвидации разлива средних сланцевых фусов. В ходе исследований рассматривались изменения показателя битумоемкости, средней и истинной плотности, а также пористости золы-уноса гидроудаления. Исследования проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 32766–2014 и свидетельствуют, что показатель битумоемкости золы-уноса гидроудаления, модифицированной 10 % смолы, составляет 46 г/100 см³, тогда как показатель битумоемкости немодифицированной золы-уноса выше в 1,7 раза и составляет 78 г/100 см³. Полученные результаты (рис. 1) говорят о том, что произошла избирательная диффузия компонентов смолы в тонкие поры и капилляры. А крупные поры подверглись колюматации.

Следовательно, при использовании такой золы-уноса в дисперсно-армированных укрепленных основаниях дорожных одежд не будет иметь место повышение расхода нефтяного битума. Это подтверждают также и результаты исследований зависимости пористости золы-уноса гидроудаления от количества введенной смолы. Немодифицированная зола-унос имеет пористость 44 %, тогда, как зола-унос, модифицированная 10 % смолы, имеет пористость 27 %. За счет введения смолы снизилась истинная плотность золы-уноса с 2180 до 1960 кг/м³ и увеличилась ее средняя плотность с 1150 до 1426 кг/м³ при введении 10 % смолы по массе.

Как указывалось ранее, полутонкие оксиды $Al_2O_3 + Fe_2O_3$, содержащиеся в значительном количестве в золе-уноса, выполняют функции катализаторов

старения нефтяных битумов, что отрицательно влияет на сроки службы конструктивных слоев дорожных одежд, выполненных из битумоминеральных композиций. Также было высказано предположение о возможности снижения скорости старения нефтяных битумов за счет взаимодействия полуторных оксидов с активными компонентами, содержащимися в углеводородном сырье (нефть, нефтепродукты, смолы, фусы, и т. д.), которыми насыщена дисперсная арматура, полученная путем резки полимерных волокнистых сорбентов.

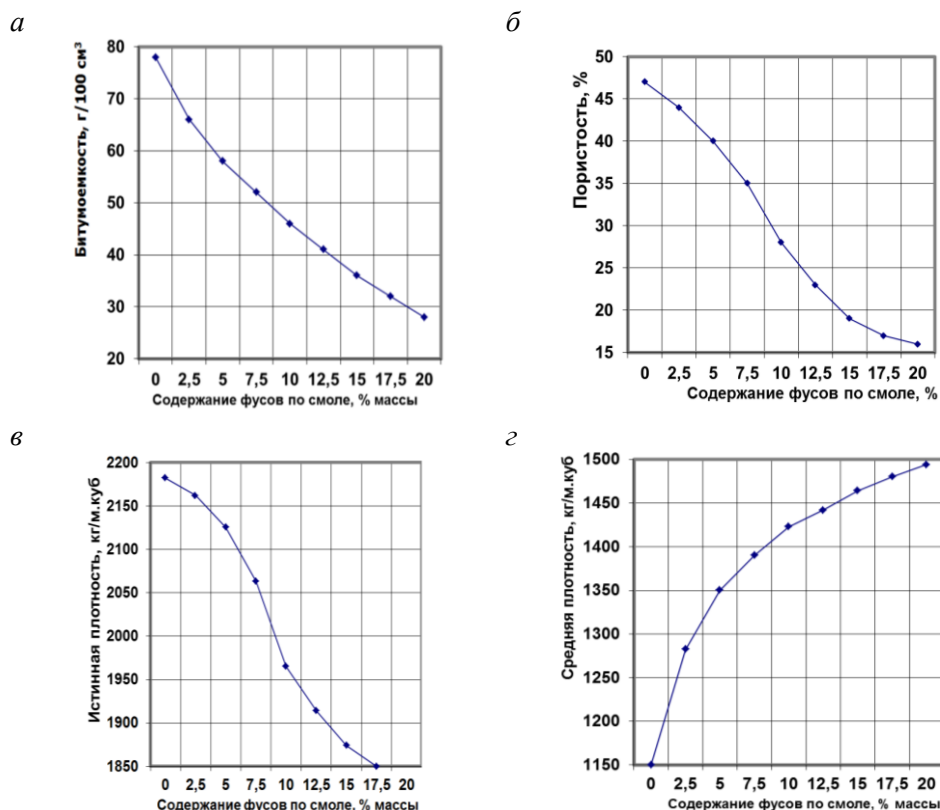


Рис. 1. Зависимость свойств золы-уноса гидроудаления от количества введенной в нее сланцевой смолы:
 а – показатель битумности; б – пористость; в – истинная плотность; г – средняя плотность

Проверка возможности нейтрализации каталитических способностей Al_2O_3 и Fe_2O_3 как ускорителей старения нефтяных битумов осуществлялась с применением методов инфракрасной спектроскопии. В исследованиях использовался нефтяной битум марки БНД 90/130 производства Ачинского НПЗ, чистый оксид железа Fe_2O_3 , сланцевая смола, полученная путем центрифугирования полимерных волокнистых сорбентов, примененных для ликвидации разливов при прорыве дамбы фусохранилища. Для получения ИК-спектров использовался двухлучевой спектрофотометр ИКС-29. Исследования проводились на смесях двух составов. Первый состав был получен путем смешения

чистого оксида железа с нефтяным битумом, второй – путем смешения нефтяного битума с чистым оксидом железа, модифицированным сланцевой смолой. Оба состава подверглись термическому старению при температуре 160 °С в течение 72 ч. Для каждого состава были получены ИК-спектры. Критерием оценки интенсивности старения полученных смесей была принята глубина карбонильного поглощения при 1600 см⁻¹, свидетельствующая о наличии ароматических соединений в смеси.

Анализ ИК-спектров, представленных на рис. 2, показал, что смесь нефтяного битума и оксида железа, модифицированного сланцевой смолой, характеризуется более интенсивной полосой карбонильного поглощения, чем смесь нефтяного битума и оксида.

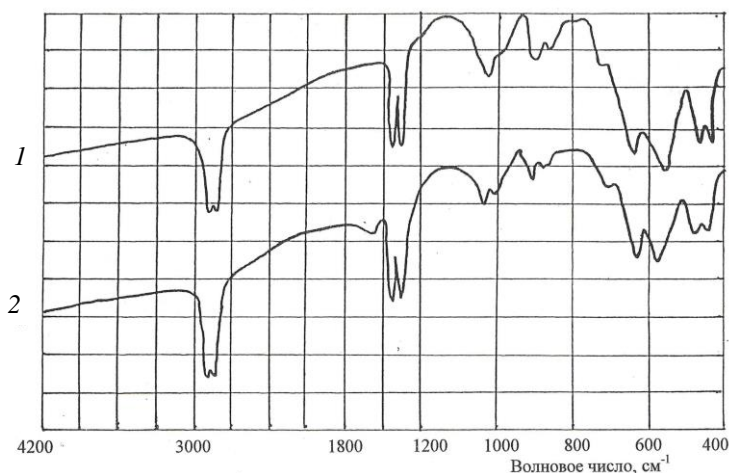


Рис. 2. ИК-спектры подвергнутых старению смесей оксида железа с органическими вяжущими: 1 – смесь оксида железа и нефтяного битума; 2 – смесь нефтяного битума и оксида железа, модифицированного сланцевой смолой

Это свидетельствует о том, что смесь нефтяного битума и оксида железа, модифицированного сланцевыми фусами, характеризуется более высокой концентрацией ароматических соединений. Данный факт можно объяснить замедлением процессов преобразования низкомолекулярных фракций нефтяного битума в высокомолекулярные фракции. То есть процесс асфальтеногенеза, представляющий собой переход масел в смолы, а смол в асфальтены, стал менее интенсивным, что свидетельствует о замедлении старения битумо-минеральной композиции [17].

Таким образом, выполненные исследования подтвердили следующее. В процессе устройства укрепленного битумом основания дорожной одежды, при смешивании золы-уноса гидроудаления с дисперсной арматурой, полученной путем резки отработавших свой ресурс полимерных волокнистых сорбентов, происходит улучшение свойств золы-уноса гидроудаления. Снижается индекс битумоемкости золы-уноса, пористость и истинная плотность, повышается средняя плотность, что позволяет исключить повышенный расход

нефтяного битума. Методом ИК-спектроскопии показано, что за счет взаимодействия полуторных оксидов с активными компонентами, содержащимися в углеводородном сырье (нефть, нефтепродукты, смолы, фусы, и т. д.), которыми насыщена полимерная дисперсная арматура, снижается скорость старения нефтяных битумов, что обеспечивает увеличение сроков службы конструктивных слоев дорожных одежд из битумоминеральных композиций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Российская Федерация. Президент.* Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года : утв. 30.04.2012 Президентом Российской Федерации. Москва, 2019. URL: <http://government.ru/docs/7280/> (дата обращения: 28.10.2022).
2. *Российская Федерация. Правительство.* Энергетическая стратегия России на период до 2030 года : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/15357> (дата обращения: 30.10.2022).
3. Путилов В.Я., Путилова И.В. Кондиционирование золошлаков энергетики в России // Золошлаки энергетики : материалы XVII Международной конференции. Варшава, 24–26 октября 2010 г. С. 27–42.
4. Utilization direction of industrial raw products built-up in power station ash dumps // MATEC Web of Conferences. 2017. V. 92. Article number 01074. P. 1–5.
5. Золошлаковые отходы. Ч. 1. На пороге экологического коллапса. URL: <http://ect-center.com/blog/zoloshlakovie-othody> (дата обращения: 30.10.2022).
6. Путилин Е.И., Цветков В.С. Применение зол-уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. Москва : ФГУП «СОЮЗДОРНИИ», 2003. 40 с. URL: <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/545081/6> (дата обращения: 30.10.2022).
7. Горюнович С.Б. Использование золошлаков в строительстве в контексте продления сроков эксплуатации золоотвалов ТЭЦ // Новости теплоснабжения. 2016. № 7 (190). URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3227 (дата обращения: 30.10.2022).
8. Putilov V., Putilova I. Properties of coal ash in Russia // Proceedings of the II EuroCoalAsh Conference 2010, May 25–26, 2010. Copenhagen, Denmark. P. 71–76.
9. Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Прокофьева Г.И., Вакс И.В. Применение сланцевых фусов в составе асфальтобетонных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 6. – С. 218–225.
10. Лукашевич В.Н., Ефанов И.Н. Исследование влияния технологии приготовления асфальтобетонных смесей на процессы старения асфальтового вяжущего при использовании волокнистых сорбентов в качестве дисперсной арматуры // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2. С. 193–198.
11. Shutov F. Recycling of Fly Ash for Production of Plastic Lumber // The Journal of Solid Waste Technology and Management. Proceedings of International Conf. on Solid Waste. Philadelphia. USA, 2007.
12. Шамрай Е.И., Таскин А.В., Иванников С.И., Юдаков А.А. Исследование возможностей комплексной переработки отходов предприятий энергетики Приморского края // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 3. С. 68–75. URL: <http://www.top-technologies.ru/article/view?id=36618> (дата обращения: 15.10.22).
13. Лекаревич С.С., Лунев А.А. Обоснование возможности крупнотоннажного использования ЗШМ на объектах дорожного строительства г. Омска // Ассоциация содействия развитию промышленного кластера по использованию и переработке золошлаковых материалов. Омск, 2017. URL: <http://cluster55.ru/научные-разработки/> (дата обращения: 15.10.22).
14. Отмахов В.И., Филоненко Д.А., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Авхимович А.В. Технологическая линия по производству полимерного волокнистого сорбента для очистки

- водных объектов от нефти и нефтепродуктов // Экология промышленного производства. 2007. № 2. С. 74–77.
15. Вертячих И.М., Жукалов В.И. Полимерные волокнистые Melt Blowing материалы для ликвидации аварий с разливами нефти и нефтепродуктов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. 2011. Т. 6. № 1. С. 53–58.
 16. Кравцов А.Г., Марченко С.А., Зотов С.В. Полимерные волокнистые фильтры для преодоления экологических последствий чрезвычайных ситуаций. Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2008. 280 с.
 17. Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мокшин Р.И. Влияние технологии производства на асфальтогенез в дисперсно-армированных битумоминеральных композициях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 5. С. 178–188. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-178-188

REFERENCES

1. Rossiiskaya Federatsiya. Prezident. Osnovy gosudarstvennoi politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya RF na period do 2030 goda: utverzhden 30.04.2012 Prezidentom Rossiiskoi Federatsii [Russian Federation. Fundamentals of the state policy in the field of environmental development of the Russian Federation for the period up to 2030. Approved on 30.04.2012 by the President of the Russian Federation]. Moscow, 2019. Available: <http://government.ru/docs/7280/> (accessed October 28, 2022). (rus)
2. Rossiiskaya Federatsiya. Pravitel'stvo. Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda: utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 13 noyabrya 2009 g. N 1715-r [Russian Federation. Energy Strategy of Russia for the period up to 2030. Approved by the Russian Federation Government Order No. 1715-r, November 13, 2009.]. Available: <https://minenergo.gov.ru/node/15357> (accessed October 30, 2022). (rus)
3. Putilov V.Ya., Putilova I.V. Konditsionirovanie zoloshlakov energetiki v Rossii [Conditioning of ash and slag from power plant generation in Russia]. In: Zoloshlaki energetiki: materialy XVII Mezhdunarodnoi konferentsii (Proc. 17th Int. Conf. 'Ash and Slag from Power Generation'). Varshava, 2010. Pp. 27–42. (rus)
4. Utilization direction of industrial raw products built-up in power station ash dumps. *MATEC Web of Conferences*. 2017. V. 92. Article number 01074. Pp. 1–5.
5. Zoloshlakovye otkhody [Ash and slag wastes]. Pt. 1. Na poroge ekologicheskogo kollapsa. Available: <http://ect-center.com/blog/zoloshlakovie-othody> (accessed October 30, 2022). (rus)
6. Putilin E.I., Tsvetkov B.C. Primenenie zol-unosa i zoloshlakovykh smesei pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog [Application of fly ash and ash-and-slag mixtures in road construction. Overview of Russian and foreign experience in the use of waste from solid fuel combustion at thermal power plants]. Moscow, 2003. 40 p. Available: www.complexdoc.ru/ntdtext/545081/6 (accessed October 30, 2022). (rus)
7. Gorunovich S.B. Ispol'zovanie zoloshlakov v stroitel'stve v kontekste prodleniya srokov ekspluatatsii zolootvalov TETs [Ash and slag use in construction in terms of extending the service life of TPP ash dumps]. *Novosti teplosnabzheniya*. 2016. No. 7 (190). Available: www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3227 (accessed October 30, 2022). (rus)
8. Putilov V., Putilova I. Properties of coal ash in Russia. In: *Proc. 2nd EuroCoalAsh Conference*. Copenhagen, Denmark, 2010. Pp. 71–76.
9. Lukashevich V.N., Lukashevich O.D., Prokofeva G.I., Vaks I.V. Primenenie slantsevykh fusov v sostave asfal'tobetonnykh smesei [The use of shaly sludge in bitumen-concrete mixes]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 6. Pp. 218–225. (rus)
10. Lukashevich V.N., Efanov I.N. Issledovanie vliyaniya tekhnologii prigotovleniya asfal'tobetonnykh smesei na protsessy stareniya asfal'tovogo vyazhushchego pri ispol'zovanii voloknistykh sorbentov v kachestve dispersnoi armatury [Effect of bitumen-concrete mix preparation on asphalt binder aging processes when using fibrous sorbents as disperse reinforcement]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 2. Pp. 193–198. (rus)
11. Shutov F. Recycling of fly ash for production of plastic lumber. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*. In: *Proc. Int. Conf. on Solid Waste*. Philadelphia, USA, 2007.

12. Shamrai E.I., Taskin A.V., Ivannikov S.I., Yudakov A.A. Issledovanie vozmozhnostei kompleksnoi pererabotki otkhodov predpriyatii energetiki Primorskogo kraia [Possibilities of integrated recycling of waste from power enterprises in Primorsky Krai]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2017. No. 3. Pp. 68–75. Available: www.top-technologies.ru/article/view?id=36618 (accessed October 15, 2022). (rus)
13. Lekarevich S.S., Lunev A.A. Obosnovanie vozmozhnosti krupnotonnazhnogo ispol'zovaniya ZShM na ob'ektakh dorozhnogo stroitel'stva g. Omska [Possibility of large-tonnage use of ash-and-slag mixtures on road construction sites in Omsk]. *Assotsiatsiya sodeistviya razvitiyu promyshlennogo klastera po ispol'zovaniyu i pererabotke zoloshlakovykh materialov*. Omsk, 2017. Available: <http://cluster55.ru/nauchnye-razrabotki/> (accessed October 15, 2022). (rus)
14. Otmakhov V.I., Filonenko D.A., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Avkhimovich A.V. Tekhnologicheskaya liniya po proizvodstvu polimernogo voloknistogo sorbenta dlya ochistki vodnykh ob'ektov ot nefi i nefteproduktov [Production line of polymeric fibrous sorbent for water body purification from oil and petroleum products]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2007. No. 2. Pp. 74–77. (rus)
15. Vertyachikh I.M., Zhukalov V.I. Polimernye voloknistye Melt Blowing materialy dlya likvidatsii avarii s razlivami nefi i nefteproduktov [Polymeric fibrous melt blowing materials for oil and petroleum product spill response]. *Chrezvychainye situatsii: obrazovanie i nauka*. 2011. V. 6. No. 1. Pp. 53–58. (rus)
16. Kravtsov A.G., Marchenko S.A., Zotov S.V. Polimernye voloknistye fil'try dlya preodoleniya ekologicheskikh posledstviy chrezvychainykh situatsii [Polymeric fiber filters for overcoming environmental consequences of emergencies]. Gomel, 2008. 280 p. (rus)
17. Lukashevich V.N., Lukashevich O.D., Mokshin R.I. Vliyanie tekhnologii proizvodstva na asfal'tenogenez v dispersno-aromirovannykh bitumomineral'nykh kompozitsiyakh [Manufacture-affected asphaltene genesis in dispersion hardened bitumen-mineral compositions]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022. V. 24. No. 5. Pp. 178–188. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-178-188 (rus)

Сведения об авторах

Лукашевич Виктор Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vnuc@yandex.ru

Лукашевич Ольга Дмитриевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, odluk@yandex.ru

Мошкин Роман Ильич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, mokshinroman@mail.ru

Authors Details

Viktor N. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vnuc@yandex.ru

Olga D. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, odluk@yandex.ru

Roman I. Mokshin, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, mokshinroman@mail.ru