
in demography and in the economy. It became obvious that economic losses due to the inertia of demographic processes are of a delayed nature. This means that it is impossible to avoid these losses, but they can be managed. The article offers one of the tools for such management. Since the demographic potential model allows us to obtain data on economic damage in the past, all the market participants can receive data in advance about the damage that has developed for the number of workers in a branch in the medium term. And thanks to the data on employment industry structure, we will be able to answer in advance where exactly the personnel shortage would develop. In the conditions of planned industrial foresights, as well as limited access to effective foreign technologies, it is really difficult to overestimate the importance of such knowledge.

Keywords: demographic damage, loss management, estimates of damage, road accident.

Classification JEL: J11, J17, J24.

Manuscript received 01.11.2021

СНИЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛОШЛАКОВ ТЭС¹

*Н.А. Осокин, И.Ю. Золотова,
Ю.В. Никитушкина*

DOI: 10.33293/1609-1442-2022-1(96)-81-93

Применение промышленных отходов в дорожном строительстве является одним из наиболее перспективных направлений развития отрасли обращения с отходами в России на сегодняшний день. Внедрение и масштабирование данной практики позволит одновременно сократить расходы как на дорожное строительство, так и на хранение отходов. В данной статье авторами принята попытка оценить экономический потенциал применения техногенных материалов (на примере золошлаковых отходов) в дорожно-строительной отрасли

© Осокин Н.А., Золотова И.Ю., Никитушкина Ю.В., 2022 г.

Осокин Никита Андреевич, заместитель директора Центра отраслевых исследований и консалтинга, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; NAOsokin@fa.ru; ORCID 0000-0003-1417-328X

Золотова Ирина Юрьевна, директор Центра отраслевых исследований и консалтинга, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; IYZolotova@fa.ru; ORCID 0000-0002-0612-6312

Никитушкина Юлия Владимировна, главный консультант Центра отраслевых исследований и консалтинга, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; YVNikitushkina@fa.ru; ORCID 0000-0002-5580-7894

¹ Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета.

в качестве насыпи земляного полотна дорожной одежды. В результате проведенного исследования авторы выявили, что потенциал использования ПСТТ–ЗШО в качестве дорожной насыпи может составлять 7,9 млн т ежегодно. Экономически целесообразным при этом вовлечение ПСТТ–ЗШО в автодорожное строительство станет только в случае нахождения золоотвала от объекта строительства на расстоянии не более 130–150 км. В ходе исследования также было установлено, что в зависимости от расположения золоотвала и карьеров с традиционными ресурсами эффект снижения себестоимости строительства автомобильных дорог по стране может составлять от 104,70 млн до 30 359,48 млн руб. Авторы пришли к выводу, что для снижения антропогенного воздействия дорожностроительной отрасли государство должно сформировать механизм, стимулирующий использование промышленных отходов при наличии технологических возможностей и экономической целесообразности. В частности, на основе зарубежного опыта авторы предложили использовать механизм эффективного радиуса утилизации, который позволит сохранить принцип экономической целесообразности применения ПСТТ–ЗШО в проектах строительства дорог.

Ключевые слова: экономика экологии; дорожное строительство; промышленные отходы; утилизация отходов; золошлаковые отходы.

Классификация JEL: Q53, R42, L94.

ВВЕДЕНИЕ

С экономической точки зрения применение техногенных материалов в дорожном строительстве является одним из ключевых факторов оптимизации использования ресурсов. Строительство дорог обусловлено спросом на значительные объемы дорожно-строительных материалов. В стране на сегодня накоплено масштабное количество отходов, в частности продуктов сжигания твердого топлива – золошлаковых отходов (ПСТТ–ЗШО). По разным оценкам объем накопленных ПСТТ–ЗШО составляет от 1,4 млрд до 1,8 млрд т (Аникеев, Силка, 2021). Ежегодно в стране образуется порядка 20 млн т ПСТТ–

ЗШО, а утилизируется при этом не более 10–12% ежегодного объема его образования².

Стимулом для увеличения масштабов вовлечения ПСТТ–ЗШО в дорожно-строительную отрасль является реализация Минтрансом России двух национальных проектов:

- «Безопасные автомобильные дороги»³;
- «Комплексный план модернизации

и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года»⁴.

В рамках первого национального проекта предполагается реализация проектов дорожного строительства с применением новых технологий и материалов, включенных в «Реестр новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений повторного применения»⁵. В рамках второго национального проекта должно быть построено 826 км дорог по международному маршруту

² Распоряжение Правительства Российской Федерации «Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» от 25.01.2018 № 84-р URL: <https://rulaws.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-25.01.2018-N-84-r/> (дата обращения: 03.09.2021).

³ Паспорт национального проекта «Безопасные качественные дороги», 2018. // Правительство Российской Федерации. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/844/events/> (дата обращения: 07.12.2021).

⁴ Паспорт национального проекта «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» // Правительство Российской Федерации. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/867/events/> (дата обращения: 16.09.2021).

⁵ См.: URL: https://is4.rnnt.ru/Account/Login?ReturnUrl=%2Fconnect%2Fauthorize%2Fcallback%3Fclient_id%3Dreact%26redirect_uri%3Dhttps%253A%252F%252Frnt.ru%252Fcallback%26response_type%3Dcode%26scope%3Dopenid%2520profile%2520api1%26state%3D82772ac3ce8d4ba997cdc99813632ed6%26code_challenge%3D_7kte70R1SvvUFJtWnpFWayxLczmUpCIPeR6G0NQISE%26code_challenge_method%3DS256%26response_mode%3Dquery

(проект «Европа – Западный Китай»⁶), а также построено и реконструировано 1977,4 км дорог на магистральных направлениях (проект «Коммуникации между центрами экономического роста»⁷).

Вовлечение промышленных отходов в дорожное строительство можно считать своеобразной точкой равновесия, которая одновременно позволит сократить расходы на дорожное строительство и на хранение отходов. Учитывая тот факт, что золошлаковый грунт, полученный путем переработки ПСТТ–ЗШО, является существенно более дешевой альтернативой песчаным и глинистым грунтам, использование его в строительстве дорог представляется экономически целесообразным. В связи с этим в данной статье авторы предприняли попытку оценить экономический потенциал использования ПСТТ–ЗШО в дорожно-строительной отрасли в качестве насыпи земляного полотна дорожной одежды.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

Большинство работ, посвященных применению промышленных отходов (фосфогипс, формовочный песок, ПСТТ–ЗШО и др.) в области дорожного строительства, имеют технологический характер (Chernysh, Yakhnenko et al., 2021; Bhardwaj, Kumar, 2017; Ondova, Stevulova et al., 2011). К при-

меру, в работе (Chernysh, Yakhnenko et al., 2021) было выявлено, что строительство дорог с применением фосфогипса обходится на 30% дешевле, чем с применением традиционных материалов. Авторы (Bhardwaj, Kumar, 2017) пришли к выводу, что 30% традиционных материалов, используемых при изготовлении бетона для строительства дорог, может быть заменено на формовочный песок. Исследование Технологического университета г. Кошице (Словакия) показало, что 1 км автомобильной дороги, возведенный с использованием ПСТТ–ЗШО, приводит к снижению выбросов парниковых газов на 64 т по сравнению с традиционными технологиями производства дорожного полотна (Ondova, Stevulova et al., 2011).

Мировыми лидерами в области использования золошлаков в дорожном строительстве на сегодняшний день являются Индия и США. В Индии песок и гравий заменяют ПСТТ–ЗШО (10 и 5% соответственно) в дорожных насыпях и строительстве автомобильных дорог (верхние слои дорожной одежды) (рис. 1) (Золотова, 2020а).

В США на насыпи для сложных конструктивных сооружений, а также верхние слои дорожной одежды приходится 13% годового объема утилизации ПСТТ–ЗШО (рис. 2). По оценкам Американской ассоциации до-



Рис. 1. Направления вовлечения ПСТТ–ЗШО в хозяйственный оборот, Индия, 2018 г.

Источники: подготовлено авторами на основе данных исследования (Sharma, Akhai, 2019).

⁶ Паспорт федерального проекта «Европа – Западный Китай». 2019 // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». URL: http://xn--80aavcebfc6cza.xn--p1ai/upload/iblock/741/Evropa_Zapadnyu-Kitay.pdf (дата обращения: 16.09.2021).

⁷ Паспорт федерального проекта «Коммуникации между центрами экономического роста». 2019 // Межрегиональная общественная организация «Майский указ». URL: <http://xn--80aavcebfc6cza.xn--p1ai/upload/iblock/8bf/Kommunikatsii-mezhdu-tsentrarni-ekonomicheskogo-rosta.pdf> (дата обращения: 16.09.2021).



Рис. 2. Направления утилизации золы-уноса в США, 2018 г.

Источники: подготовлено авторами на основе данных исследования (Beneficial use..., 2019).

рожно-транспортных строителей⁸ использование золы-уноса в строительстве дорог и мостов позволяет США экономить до 5,2 млрд долл. в год (Beneficial use..., 2019).

Успех перечисленных стран в достижении высоких показателей утилизации ПСТТ–ЗШО заключается в создании системы стимулов как для источников образования отходов, так и предприятий, потребляющих продукты на их основе. В Индии, к примеру, введено понятие «эффективного радиуса утилизации отходов». Данный термин применяется для обозначения расстояния от объекта размещения отходов (ОРО) до объекта применения промышленных отходов, протяженность которого позволяет сохранить принцип экономической целесообразности. На основе данной концепции в стране реализуются многие государственные программы вовлечения отходов в хозяйственный оборот. К примеру, в 1999 г. Министерство природы, лесов и климатических изменений Индии издало распоряжение об обязательном использовании:

- продукции, произведенной с применением ПСТТ–ЗШО, в проектах жилой и не-

⁸ American Road & Transportation Builders Association (ARTBA). URL: <https://www.artba.org/> (дата обращения: 24.04.2021).

жилой застройки в радиусе 100 км от угольных электростанций (Low Carbon..., 2014);

- золошлаков при сооружении дорожных насыпей, возводимых на расстоянии в 100 км от угольной электростанции.

В рамках реализации Национальной программы утилизации ПСТТ–ЗШО в Индии было разработано 68 демонстрационных проектов. Проекты были реализованы по 10 направлениям их вовлечения, которые были определены как наиболее перспективные в части крупнотоннажной утилизации ПСТТ–ЗШО⁹.

В США в период с 1970 по 1985 гг. реализовали шесть пилотных проектов использования ПСТТ–ЗШО при строительстве асфальтированных автомобильных дорог в крупных городах трех штатов: Хьюстон (шт. Техас), Вашингтон (округ Колумбия) и Филадельфия (шт. Пенсильвания) (Осокин, Золотова, 2020; Sun, Li et al., 2016). В рамках данных пилотных проектов практиковалось применение ПСТТ–ЗШО для сооружения всех слоев дорожной одежды. Было установлено, что наибольший положительный эффект достигается при использовании ПСТТ–ЗШО в пропорции 20% общего объема основания и 15% общего объема дорожного покрытия. Опыт США доказывает, что ПСТТ–ЗШО могут быть использованы в проектах автодорожного строительства при условии соответствия требованиям технологического регламента.

Однако число эмпирических исследований применения техногенных материалов (и конкретно ПСТТ–ЗШО) с точки зрения экономической целесообразности невелико. Многие авторы сходятся во мнении, что значимым барьером для организации системного вовлечения ПСТТ–ЗШО в дорожное строительство могут стать расходы на транспортировку от места образования (размеще-

⁹ Fly Ash Utilization Programme // Technology Information, Forecasting and Assessment Council. URL: <https://tifac.org.in/index.php/about-us/glorious-past/fly-ash-utilization-programme> (дата обращения: 31.03.2021).

ния) отходов до объекта утилизации (Золотова, 2020в; Осокин, Никитушкина и др., 2021).

Транспортные расходы занимают значительную долю в себестоимости практически для всех направлений утилизации ПСТТ–ЗШО. В случае, когда золоотвал (или ТЭС) находится на большом расстоянии от потенциальных потребителей, это может нивелировать даже низкую стоимость их производства (Золотова, 2020в). По оценкам экспертов Австралийской ассоциации развития использования золошлаков (ADAA), применять золошлаки в проектах рекультивации нарушенных земель в стране может быть выгодно, только когда золоотвал располагается на расстоянии, не превышающем 20 км от объекта горных выработок (Золотова, 2020в; Gurba, Heidrich et al., 2014).

А.А. Лунёв (Лунёв, 2019) в своей работе оценил экономическую целесообразность применения золошлаков в качестве альтернативы грунту для сооружения насыпей. Фактор транспортного плеча был использован в качестве основы для проведения оценки (Лунёв, 2019). Так, автор сопоставил стоимость транспортировки и реализации ПСТТ–ЗШО с теми же параметрами для более распространенных на практике глинистых и песчаных грунтов (рис. 3). Полученные им результаты показывают, что транспортное плечо для золошлаковых отходов почти в пять раз может превышать радиус перевозок грунтов (Золотова, 2020в; Лунёв, 2019). Экономическая конкурентоспособность ПСТТ–ЗШО сохраняется за счет того, что для подготовки глинистых и песчаных грунтов к использованию необходим ряд более сложных, а значит и более дорогостоящих операций (Золотова, 2020в).

В представленных выше результатах за основу расчета были приняты прямые экономические затраты. При этом в расчет не были включены потенциальные расходы со стороны ТЭС, направленные на расширение или сооружение новых золоотвалов (Золотова, 2020в). Возможно, для ТЭС, у которых ситуация с заполнением золоотвалов является критичной, решением станет реализация ПСТТ–ЗШО

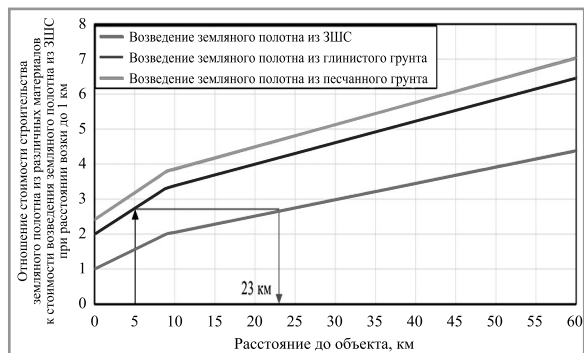


Рис. 3. Экономическая целесообразность использования золошлаков по сравнению с природными грунтами при возведении земляного полотна

Источник: (Лунёв, 2019).

ниже себестоимости. Тариф на тепловую и электрическую энергию позволяет компенсировать капитальные затраты на строительство нового золоотвала. Одновременно из-за механизмов сдерживания роста тарифов обязательства компенсировать расходы могут возлагаться полностью на ТЭС или бюджетные источники (Золотова, 2020б; 2020в).

Опыт применения техногенных материалов в дорожном строительстве в России

В 2013 г. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор) распоряжением № 250-р утвердило методический документ ОДМ 218.2.031–2013 «Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве» (далее – ОДМ 218.2.031)¹⁰. Данный доку-

¹⁰ Об издании и применении ОДМ 218.2.031–2013 «Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве» // Росавтодор. URL: <https://rosavtodor.ru/docs/priказы-rasporuzheniya/13332> (дата обращения: 15.09.2021).

мент содержит рекомендации использования ПСТТ–ЗШО для:

- сооружения насыпи земляного полотна;
- устройства дополнительных слоев оснований дорожных одежд;
- строительства конструктивных слоев дорожных одежд;
- обработки материалов и укрепления грунтов;
- производства асфальтобетонных и органоминеральных смесей (Грицук и др., 2017).

В зависимости от направления использования ПСТТ–ЗШО в дорожном строительстве варьируют требования к их химическим и физическим свойствам. Технологические требования, предъявляемые к сооружению насыпей с использованием ПСТТ–ЗШО, являются наименее жесткими (Осокин, Золотова, 2020). Данное направление с точки зрения объемов утилизации ПСТТ–ЗШО имеет наибольший потенциал развития. Для сооружения насыпей с применением ПСТТ–ЗШО ОДМ 218.2.031 предписывает критерии содержания горючих веществ и соответствие V классу опасности отходов, к которым относятся более 99% образующих ПСТТ–ЗШО в России. Отдельно в документе отмечается необходимость соответствия предельным параметрам морозной пучинистости (степень увеличения объема ПСТТ–ЗШО при переходе из талого состояния в мерзлое), как предписано в ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация». Показатель пучинистости не является препятствием для использования золошлаковой смеси (ЗШС) – он лишь предписывает необходимость сооружения укрепляющих насыпей конструкций. Однако необходимо отметить, что подобные операции приведут к повышению стоимости вовлечения золошлаков в дорожное строительство.

Необходимо также отдельно отметить ГОСТ 3344-83 «Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия»¹¹ (далее – ГОСТ 3344-83). В данном стандарте содержатся требования

к щебню, песку и готовым щебеночно-песчаным смесям из шлаков черной и цветной металлургии и фосфорных шлаков (Осокин, Золотова, 2020). Возможности использования ПСТТ–ЗШО в данном ГОСТе не упоминается (Осокин, Золотова, 2020). При этом в ОДМ 218.2.031-2013 отмечается, что в случае соответствия ПСТТ–ЗШО требованиям ГОСТ 3344-83 эти отходы могут быть использованы при производстве асфальтобетонных и органоминеральных смесей.

Стоит отметить, что на основе ГОСТ 3344-83 собственные шлаковые отходы успешно реализует ПАО «НЛМК»¹². В 2019 г. в общей сложности было вовлечено 3,15 млн т доменного шлака, произведенного на предприятиях ПАО «НЛМК». Предприятие занимается реализацией шлакового песка и шлаковых песчаных смесей для дорожного строительства в ряде областей: Липецкой, Московской, Белгородской, Воронежской, Тамбовской, Рязанской, Нижегородской, Калужской, Курской, Брянской и Пензенской (Осокин, Золотова, 2020).

МЕТОДИКА

В рамках утилизации ПСТТ–ЗШО в автотдорожном строительстве авторы рассматривают в первую очередь насыпь земляного полотна. Такое допущение объясняется тем, что для данного направления вовлечения ПСТТ–ЗШО предъявляются минимальные требования к физико-механическим свойствам отходов. Обзор зарубежного опыта показал, что использование ПСТТ–ЗШО в качестве добавки для асфальтобетонных смесей дорожного

условия // Техэксперт. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704812> (дата обращения: 15.09.2021).

¹² Как дешево замостить согни километров сельских дорог // Коммерсантъ. 2019. 22 октября. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4133939> (дата обращения: 28.02.2021).

¹¹ ГОСТ 3344-83 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические

слоя требует высокого уровня стабильности химического состава и физико-механических свойств. Однако это сложно соблюсти с учетом специфики работы отечественных ТЭС, связанной с изменением нагрузки, объемов и структуры подсветочного и растопочного топлива, системой золоудаления и прочее.

Анализ потенциала использования ПСТТ–ЗШО в качестве дорожной насыпи оценивался исходя из планов строительства новых автомобильных дорог в регионах, где присутствуют ТЭС, работающие на твердом топливе. Планы реконструкции и ремонта автомобильных дорог при расчете не учитывались. Это обусловлено тем, что реконструкции и ремонту зачастую подвергается только верхняя часть дорожного полотна, для которой на сегодняшний день практика вовлечения ПСТТ–ЗШО ограничена технологическими барьерами.

Планы строительства автодорог были определены на основе региональных стратегических документов в области развития транспортных схем. Таким образом, в рамках модельного расчета рассматривались дороги регионального, межмуниципального и муниципального значения. Реализация пилотных проектов применения ПСТТ–ЗШО в строительстве таких дорог является наиболее актуальной в силу того, что к ним применяются менее строгие технологические требования и более короткие межремонтные сроки.

Дороги федерального значения в данном расчете рассмотрены не были в связи с тем, что к ним предъявляются повышенные нормативные требования. Отсутствие системной практики проектирования и эксплуатации дорог, построенных с применением ПСТТ–ЗШО, в настоящее время является барьером для вовлечения золошлаков в строительство дорог более высокой категории. При этом наработка практического опыта строительства дорог более низкой категории с применением ПСТТ–ЗШО способствует формированию научно-технологического задела для вовлечения золошлаков в строительство дорог высшей категории, в том числе входящих в состав международных маршрутов.

В рамках литературного обзора было определено, что ключевым фактором, определяющим экономическую целесообразность использования золошлаков по сравнению с традиционными ресурсами является транспортное плечо. При расчете стоимости транспортировки ПСТТ–ЗШО автомобильным транспортом от золоотвала до возводимого участка дороги учитывались следующие факторы:

- грузоподъемность транспорта;
- норма расхода и стоимость ГСМ;
- средняя скорость движения автомобильного транспорта;
- стоимость часа работы водителя грузового транспорта.

Для модельного расчета была взята марка грузового автомобиля КАМАЗ 43253 – как одна из наиболее распространенных в стране. Грузоподъемность автомобиля составляет 9 т, норма расхода бензина – 35 л на 100 км. Цена 1 л бензина была взята в размере 48 р. Часовая ставка оплаты труда водителей грузового транспорта была взята в размере 300 р. в час. На основе данного значения была посчитана стоимость использования золошлаков, а также двух альтернативных материалов (по аналогии с подходом в работе (Лунёв, 2019)), которые могут использоваться для сооружения земляного полотна дорожной насыпи.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объем требуемого грунта для конструирования насыпи земляного полотна автодороги всегда определяется проектной документацией. Эксперты отмечают, что в среднем 15–30 тыс. м³ грунта может приходиться на 1 км автодороги (Осокин, Золотова, 2020). Однако в зависимости от высоты насыпи и ширины дороги значение может достигать и 150 тыс. м³ грунта на 1 км. В рамках модельного расчета было решено использовать дорогу шириной в 8 м с углом откоса 1:2 и высотой 6 м. Таким образом, на 1 км рас-

считывалась потребность в 24 тыс. м³ грунта. Для расчетов использовалось допущение, что 1 т ПСТТ–ЗШО в сухом состоянии равно 1 м³. Потенциал использования золошлакового грунта оценивался на базе перспективных планов развития сети автодорог регионального и межмуниципального значения до 2024 г.

Исходя из данных предпосылок, было определено, что потенциал утилизации ПСТТ–ЗШО в качестве дорожной насыпи может составлять 7,9 млн т (табл. 1). Однако особенно важным в контексте дорожной насыпи является экономическая конкурентоспособность ПСТТ–ЗШО по сравнению с традиционным сырьем, так как в данном случае экономическая конкурентоспособность (при условии технологической сопоставимости) выражается в стоимости транспортировки.

В модельном расчете стоимости материала для сооружения дорожной насыпи был

проведен сравнительный анализ золошлакового грунта с глинистым и песчаным грунтом. В соответствии с ГОСТ 25100–2020 «Грунты. Классификация»¹³ данные материалы могут быть классифицированы в качестве грунтов, следовательно, являются конкурирующими. Согласно работе (Лунёв, 2019) золошлаковый грунт при этом обладает рядом преимуществ над традиционными грунтами. Во-первых, золошлаковый грунт относится к I группе по сложности разработки (глинистый грунт – ко II группе), что способствует повышению производительности машин при проведении работ по разработке грунта. Во-вторых, стоимость транспортировки золошлакового грунта (оплата за тонно-километры) в среднем на 30–

¹³ ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» // Техэксперт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174302> (дата обращения: 18.02.2022).

Таблица 1

Потенциал использования ПСТТ–ЗШО в качестве насыпи земляного полотна дорожной одежды

Регион	Средний годовой объем ввода новых автодорог регионального, межмуниципального и муниципального значения 2020–2024, км	Потенциал использования ПСТТ–ЗШО для насыпи без учета фактора экономической целесообразности, тыс. т
Новосибирская область	92,70	2224,73
Иркутская область	64,44	1546,56
Красноярский край	37,31	895,40
Свердловская область	27,57	661,60
Республика Бурятия	17,29	414,91
Тульская область	16,02	384,39
Ростовская область	14,54	348,96
Хабаровский край	11,76	282,24
Челябинская область	10,20	244,82
Омская область	8,46	203,04
Приморский край	7,60	182,41
Забайкальский край	6,90	165,70
Амурская область	5,24	125,76
Алтайский край	5,00	120,00
Кемеровская область	4,24	101,76
Республика Саха (Якутия)	0,00	0,00
ИТОГО	329,27	7902,28

Источники: подготовлено авторами на основе анализа региональных программ дорожного строительства и развития транспортных системы.

40% ниже в связи с тем, что данный материал имеет меньший удельный вес. В-третьих, число проходов катка, требуемое для уплотнения слоя золошлакового грунта, на 50% меньше, чем в случае традиционных грунтов.

Цена реализации золошлакового грунта составляет 1 р. за 1 т, тогда как песчаные и глинистые грунта в среднем реализуются по цене 300 и 350 р. за 1 т соответственно.

В соответствии с расчетом, представленным в работе Осокина и др. (2021), было доказано, что с учетом затрат на транспортировку 9 т грунта (средняя грузоподъемность грузовой техники) золошлаковый грунт имеет преимущество в транспортном плече над традиционными грунтами до 150 км (табл. 2) (Осокин и др., 2021).

По результатам моделирования видно, что стоимость ПСТТ–ЗШО (для использования в качестве материала в дорожном строительстве) при величине транспортного плеча в 150 км практически равна стоимости использования альтернативных материалов с транспортным плечом в 10 км. Таким образом, можно утверждать наличие экономической целесообразности вовлечения золошлаков в автодорожное строительство в случае нахождения золоотвала от объекта строительства на расстоянии не более чем на 130–150 км, что значительно дальше по сравнению с расстоянием между объектом строительства и ближайшим песочным или глинистым карьером.

Прошлые исследования показывают, что экономическая целесообразность исполь-

зования ПСТТ–ЗШО вместо песка для целей дорожного строительства сохраняется в среднем на расстоянии до 50 км (Лунёв, Сиротюк, 2015). Различия в результатах транспортного плеча можно связать с методологическим подходом к сопоставлению альтернатив (техногенный материал против традиционного сырья). При расчете транспортного плеча целесообразно сопоставлять не тонно-километровы, а самосвал-километры, поскольку на практике транспортировка техногенного сырья производится на специальной технике грузоподъемностью 3–9 т.

На основе значений, приведенных в табл. 3, был выполнен расчет ежегодного потенциала снижения себестоимости дорожного строительства в зависимости от процента использования потенциала ПСТТ–ЗШО (ТАМ). Исходя из проведенных сценарных расчетов, было установлено, что в зависимости от расположения золоотвала и карьеров с традиционными ресурсами эффект от снижения себестоимости строительства автомобильных дорог по стране может составлять от 104,70 млн до 30 359,48 млн р.

В качестве практического примера стоит специально выделить опыт применения ЗШС Каширской ГРЭС в строительстве железнодорожного перегона в Ступинском районе Московской области. Генеральным подрядчиком строительства выступала компания ОАО «Стройтрансгаз». Согласно решению технического совета Главного управления дорожного хозяйства Московской области, подрядчику

Таблица 2
Модельный расчет стоимости материала для сооружения дорожной насыпи автомобильных дорог

Материал	Цена реализации материала без учета транспортного плеча, р. за 1 т*	Цена реализации (р.) материала на первом самосвале (9 т) с учетом транспортного плеча в размере:			
		10 км	50 км	100 км	150 км
Золошлаковый грунт	1	265	1287	2564	3842
Глинистый грунт	300	2956	3978	5255	6533
Песчаный грунт	350	3406	4428	5705	6983

* Цены взяты на основе средних рыночных цен в регионах Сибирского федерального округа, где расположено наибольшее число ПСТТ–ЗШО в России.

Источники: (Осокин и др., 2021).

Таблица 3

Сценарный расчет потенциального экономического эффекта от использования ПСТТ–ЗШО в дорожном строительстве в качестве насыпи для земляного полотна

Сценарий	Объем ежегодного использования ПСТТ–ЗШО в насыпи, тыс. т	Снижение себестоимости автомобильных дорог (млн р.), если золоотвал удален от песчаного карьера на:				
		10 км	50 км	100 км	150 км	Среднее
Полный потенциал, % (ТАМ)	7902,00	2094,03	10 169,87	20 260,73	30 359,48	15 721,03
75 ТАМ	5926,50	1570,52	7627,41	15 195,55	22 769,61	11 790,77
50 ТАМ	3951,00	1047,02	5084,94	10 130,36	15 179,74	7860,52
25 ТАМ	1975,50	523,51	2542,47	5065,18	7589,87	3930,26
10 ТАМ	790,20	209,40	1016,99	2026,07	3035,95	1572,10
5 ТАМ	395,10	104,70	508,49	1013,04	1517,97	786,05

Источники: подготовлено авторами.

была дана рекомендация использовать ЗШС в качестве грунта для сооружения земляного полотна (Лунёв, 2019). Объект строительства находился на расстоянии 40 км от источника образования ЗШС, что позволило обеспечить экономическую целесообразность вовлечения данного вида промышленных отходов в проект строительства (там же). В ходе реализации проекта было утилизировано 700 тыс. т золошлаков, что сопоставимо с 10% ТАМ. Потенциально использование золошлаков в таком объеме позволяет в среднем снизить стоимость дорожно-строительного проекта на 1572,10 млн р. (по сравнению с проектом, предполагающим использование традиционных ресурсов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Серьезные экономические барьеры использованию ПСТТ–ЗШО в дорожной насыпи представлены увеличенным транспортным плечом. Данный фактор также указывает на вероятность того, что для отдельно взятой ТЭС сооружение насыпей дорожного полотна может стать ситуативным решением, но системно это не решит вопроса утилизации ПСТТ–ЗШО в России.

На сегодняшний день опыт применения золошлаков в дорожном строительстве в стране остается крайне ограниченным. При этом необходимо отметить, что данное направление использования ПСТТ–ЗШО позволяет сохранить недра земель и исключить невынужденное использование природных ресурсов. Для снижения антропогенного воздействия дорожно-строительной отрасли государство должно формировать механизм, стимулирующий использование промышленных отходов при наличии технологических возможностей и экономической целесообразности.

Приведенный в статье опыт применения эффективного радиуса утилизации ПСТТ–ЗШО в Индии может послужить хорошим примером для тиражирования. Для этого предлагается распространить обязательное правило использования ПСТТ–ЗШО, образующихся в рамках эффективного расстояния утилизации, при реализации контрактов на государственные и муниципальные нужды. Для реализации данной меры потребуются внести изменения в Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации» от 31.12.2014 № 488-ФЗ в части установления запрета на использование строительных материалов, произведенных полностью с использованием полезных ископаемых в проектах строительства (в том числе автодо-

рожного), при условии технической возможности (подтвержденной соответствующей технической документацией) использования продукции юридических лиц, аккредитованных как организации, специализирующиеся на производстве продукции с использованием техногенных материалов, и расположения соответствующих предприятий на эффективном расстоянии от предлагаемого места реализации соответствующих проектов. В законе также потребуются прописать критерии, которым должны соответствовать электростанции (в том числе в части системы отгрузки золошлаковых отходов), чтобы иметь возможность участвовать в реализации соответствующей нормы. Со стороны Федеральной антимонопольной службы при этом необходимо будет усилить контроль над соответствием механизмов ценообразования со стороны ТЭС на ПСТТ–ЗШО существующим рыночным тенденциям.

В рамках реализации национальных проектов в дорожностроительной отрасли объем вовлечения ПСТТ–ЗШО может быть увеличен за счет включения данного вида отходов в Реестр новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений повторного применения. В частности, в Федеральном проекте «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» (<https://bkdrf.ru/about/development>) определен целевой показатель «Доля контрактов на осуществление дорожной деятельности в рамках национального проекта, предусматривающих использование новых технологий и материалов, включенных в «Реестр новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений повторного применения»». Включение технологии использования ПСТТ–ЗШО в Реестр может стать дополнительным стимулом для формирования спроса на золошлаки угольных ТЭС со стороны отечественных производителей в сфере дорожного строительства.

Немаловажным является также связь задач утилизации золошлаков с декарбонизацией экономики. Экологический эффект в виде снижения выбросов парниковых газов от ис-

пользования ПСТТ–ЗШО в качестве насыпи дорожного полотна исключен (не возникает), поскольку данный вид вовлечения золошлаков не предполагает предотвращения технологической переработки первичных материальных ресурсов. Подобные экологические выгоды могли быть извлечены в случае использования ПСТТ–ЗШО в верхних слоях дорожной одежды. Однако для развития данного направления в России сегодня существуют серьезные технологические барьеры. В дальнейшем при этом целесообразно рассмотреть экономические и экологические эффекты от использования ПСТТ–ЗШО в верхних слоях дорожной одежды, что потребует более сложных технологических решений и обеспечения однородности поставляемого материала для гарантии соответствующего уровня качества и надежности.

Список литературы / References

- Аникеев В., Силка Д.Н. (2021). От отходов угольных электростанций к производству строительных материалов // Энергетическая политика. № 1(155). С. 48–55. [Anikeev V., Silka D.N. (2021). From wastes from coal-fired power plants to the production of building materials. *Energy Policy*, no. 1 (155), pp. 48–55 (in Russian).]
- Грицук А.И., Туманова С.А., Чаргазия Т.З., Бородай Д.И., Стукалов А.А. (2017). Эффективность использования золошлаков в дорожном строительстве // Экономика строительства и городского хозяйства. № 13(1). С. 81–91. [Gritsuk A.I., Tumanova S.A., Chargaziya T.Z., Borodai D.I., Stukalov A.A. (2017). Efficiency of using ash and slag in road construction. *Economics of Construction and Urban Economy*, no. 13(1), pp. 81–91 (in Russian).]
- Золотова И.Ю. (2020а). Бенчмаркинг зарубежного опыта утилизации продуктов сжигания твердого топлива угольных ТЭС // Инновации и инвестиции. № 7. С. 123–128. [Zolotova I.Yu. (2020a). Benchmarking of foreign experience in

- the utilization of solid fuel combustion products of coal thermal power plants. *Innovations and Investments*, no. 7, pp. 123–128 (in Russian).]
- Золотова И.Ю. (2020б). Риски сохранения текущей системы утилизации продуктов сжигания твердого топлива угольных ТЭС в России // Стратегические решения и риск-менеджмент. Т. 11. № 2. [Zolotova I. Yu. (2020b). Risks of maintaining the current system for the disposal of solid fuel combustion products from coal-fired TPPs in Russia. *Strategic Decisions and Risk Management*, no. 11(2) (in Russian).]
- Золотова И.Ю. (2020в). Теоретическая экономическая модель утилизации золошлаковых отходов угольных ТЭС в России // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. № 8. С. 24–29. [Zolotova, I. Yu. (2020c). A theoretical economic model for the utilization of ash and slag waste from coal-fired thermal power plants in Russia. *Modern Science: Top Problems of Theory and Practice. Series: Economics and Law*, no. 8, pp. 24–29 (in Russian).]
- Лунёв А.А. (2019). Обоснование расчетных значений механических характеристик золошлаковых смесей для проектирования земляного полотна // Диссерт на соиск. ... канд. техн. наук. Омск. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» [Lunev A.A. (2019). Substantiation of the calculated values of the mechanical characteristics of ash and slag mixtures for the design of the subgrade (Dissert. Cand. Techn. Sc., Omsk, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Siberian State Automobile and Road University (SibADI)») (in Russian).]
- Лунёв А.А., Сиротюк В.В. (2015). Применение золошлаковых смесей для вертикальных планировок и строительства городских дорог // Техника и технологии строительства. Т. 1. С. 24–31. [Lunev A.A., Sirotyuk V.V. (2015). The use of ash and slag mixtures for vertical planning and construction of city roads. *Engineering and Construction Technologies*, vol. 1, pp. 24–31 (in Russian).]
- Осокин Н.А., Золотова И.Ю. (2020). «Зольные» автодороги – насколько реально системно использовать отходы ТЭС в дорожном строительстве? // *Teplovichok Today*. [Osokin N., Zolotova I. (2020). “Ash” roads – how realistic is it to systematically use TPP waste in road construction? *Teplovichok Today* (in Russian).] URL: <https://www.teplovichok.today/ecology>
- Осокин Н.А., Золотова И.Ю., Никитушкина Ю.В. (2021). Экономическая целесообразность вовлечения золошлаков в дорожное строительство // Мир дорог. № 141. [Osokin N.A., Zolotova I. Yu., Nikitushkina Yu.V. (2021). Economic feasibility of involving ash and slag in road construction. *The World of Roads*, no. 141 (in Russian).]
- Осокин Н.А., Никитушкина Ю.В., Бачаев У.А. (2021). Стимулирование утилизации промышленных отходов в России: как может помочь зарубежный опыт // ЭКО. № 51(9). С. 69–93. [Osokin N., Nikitushkina Y., Bachaev U. (2021). Stimulating the utilization of industrial waste in Russia: how foreign experience can help. *ECO Journal (Economics and Industrial Engineering)*, no. 9, pp. 69–93 (in Russian).] URL: <http://dx.doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2021-9-69-94>
- Beneficial use of coal combustion products (2019). American Coal Ash Association (ACAA). URL: <https://aca-ausa.org/wp-content/uploads/coal-combustion-products-use/ACAA-Brochure-Web.pdf>
- Bhardwaj B., Kumar P. (2017). Waste foundry sand in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, no. 156, pp. 661–674.
- Chernysh Y., Yakhnenko O., Chubur V., Roubík H. (2021). Phosphogypsum Recycling: A Review of Environmental Issues, Current Trends, and Prospects. *Applied Sciences*, no. 11(4), p. 1575.
- Gurba L., Heidrich C., Ward C. (2014). Coal combustion products handbook. *Cooperative Research Centre for Coal in Sustainable Development*. Australian Black Coal Utilisation Research Limited.
- Low Carbon and Resource Efficient Technology (2014). Low Carbon and Resource Efficient Technology: Scaling Up of Fly Ash Brick Technology in India. *Asia-Pacific Network for Global Change Research*. URL: <https://www.apn-gcr.org/>

resources/files/original/1f1ab94ed4651ca0247734fec8c5245b.pdf

- Ondova M., Stevulova N., Zelenakova E. (2011). Energy savings and environmental benefits of fly ash utilization as partial cement replacement in the process of pavement building. *Chemical Engineering Transactions*, vol. 25, pp. 297–302.
- Sharma V., Akhai S. (2019). Trends in utilization of coal fly ash in India: A review. *Journal of Engineering Design and Analysis*, no. 2(1), pp. 12–16.
- Sun X., Li J., Zhao X., Zhu B., Zhang G. (2016). A review on the management of municipal solid waste fly ash in American. *Procedia Environmental Sciences*, no. 31, pp. 535–540.

Рукопись поступила в редакцию 07.12.2021 г.

REDUCING THE ROAD CONSTRUCTION ANTHROPOGENIC IMPACT BY USING ASH AND SLAG FROM THERMAL POWER PLANTS: ECONOMIST'S VIEW

N.A. Osokin, I.Yu. Zolotova, Yu.V. Nikitushkina

DOI: 10.33293/1609-1442-2022-1(96)-81-93

Nikita A. Osokin, deputy director of the Center of Sectoral Research and Consulting, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; NAOsokin@fa.ru; ORCID 0000-0003-1417-328X

Irina Yu. Zolotova, director of the Center of Sectoral Research and Consulting, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; IYZolotova@fa.ru; ORCID 0000-0002-0612-6312

Yuliia V. Nikitushkina, chief consultant of the Center of Sectoral Research and Consulting, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; YVNikitushkina@fa.ru; ORCID 0000-0002-5580-7894

Acknowledgment. The article was prepared based on the results of studies carried out at the expense of budgetary funds under the state assignment of the Financial University under the Government of the Russian Federation.

Abstract. Industrial waste involvement in road construction projects is one of the most prospective areas for waste management industry development in Russia. The introduction and scaling up of this practice will simultaneously reduce the costs of both road construction and waste storage. In the article, the authors attempted to evaluate the economic potential of using industrial by-products (using the example of ash and slag waste) in the road construction industry as an embankment of a roadbed. As the result, it was revealed that the economic potential for utilizing ash and slag waste as a road embankment can be up to 7,9 million tons annually. At the same time, it will be economically feasible to involve ash and slag waste in road construction only if the ash dump is located at a distance of no more than 130–150 kilometer from the construction site. The study also discovers that depending on the ash dump and open pits with traditional resources location, the effect in reducing the building highways costs across the country can range from 104,70 million to 30359,48 million rubles. The authors concluded that to reduce the anthropogenic impact of the road construction industry, the government should form a mechanism stimulating the use of industrial waste keeping technological capabilities and economic feasibility of the process. Based on foreign experience, the authors proposed to use the effective disposal radius mechanism, which preserves the principle of economic feasibility of using ash and slag waste in the road construction projects.

Keywords: ecological economy; road construction; industrial waste; waste disposal; ash and slag waste.

JEL classification: Q53, R42, L94.

Manuscript received 07.12.2021