

Проектирование и строительство дорог

Научная статья

УДК 625.81

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/131-139>

К.В. Свалова, О.В. Кривченко

СВАЛОВА КРИСТИНА ВИТАЛЬЕВНА – к.т.н., доцент кафедры строительства
kristi24091990s@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3644-5242>КРИВЧЕНКО ОЛЬГА ВАДИМОВНА – магистрант кафедры строительства,
olyakrivchenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2151-1422>*Забайкальский государственный университет*

Чита, Россия

**Укрепление дорожной одежды золошлаковыми смесями
(на примере Забайкальского края)**

Аннотация. Статья посвящена оценке применения золошлаковых смесей для укрепления дорожной одежды автомобильных дорог IV-V категорий на примере Забайкальского края. Исследован состав золошлаковой смеси Читинской ТЭЦ-2, который показал, что при соответствии показателей относительного морозного пучения требованиям нормативной документации смесь может применяться в дорожном строительстве III и IV дорожно-климатической зоны для устройства дополнительных (дренирующих, морозозащитных, теплоизолирующих) слоёв дорожных одежд. Определены наиболее эффективные составы, состоящие из золошлаковой смеси, цемента и стабилизаторов АНТ, Криогелита, битумной эмульсии. Представлены результаты опытно-экспериментального внедрения данных составов на участке автомобильной дороги Новая Кука–Могзон–Хилок в 2015–2016 гг. Исследования прочности полученных цементно-грунтовых одежд показали достаточный уровень модуля упругости, равный 107 МПа, позволяющий обеспечить требуемую минимальную прочность в 100 МПа для дороги IV технической категории. Мониторинг участка дороги в 2022 г. показал, что реализация мероприятий по усилению дорожного полотна с применением золошлаковых материалов позволила успешно эксплуатировать дорогу на протяжении 7 лет без проведения ремонта.

Ключевые слова: дорожная одежда, золошлаковая смесь, отходы ТЭЦ, цементогрунт, стабилизаторы

Для цитирования: Свалова К.В., Кривченко О.В. Укрепление дорожной одежды золошлаковыми смесями (на примере Забайкальского края) // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 3(56). С. 131–139.

Введение

На сегодняшний день качеству автомобильных дорог уделяется огромное внимание, со стороны как общества, так и государства. Значение дорог на любом этапе развития цивилизации трудно переоценить. Свободное передвижение на транспортных средствах определяет качество жизни человека, функционирование городских структур, междугородние и внутриконтинентальные торговые отношения. Однако конструкции дорожных одежд зачастую не отвечают нормативным требованиям по комфортабельности, долговечности, несущей способности, безопасности.

Согласно национальным проектам и государственным программам ежегодно реконструируются и ремонтируются сотни тысяч километров автомобильных дорог федерального и регионального значения I–III категорий. Однако зачастую водителям приходится перемещаться по грунтовым дорогам более низших категорий (IV–V) с облегченным покрытием. Одной из проблем качества дорог таких категорий является слабое дорожное основание, «размыв

дорог» в весенне-осенний период. Одним из предлагаемых и актуальных решений этой проблемы является укрепление дорожной одежды золошлаковыми смесями.

В целом золошлаковая смесь – это смесь золы уноса и шлака, которая образуется при совместной их утилизации в золоотвал. Золошлаки могут быть применены в разных отраслях. Если говорить о дорожном строительстве, то они легко могут найти применение при возведении земляного полотна, для устройства укрепленных оснований, в качестве заполнителя и минерального порошка в асфальтобетонах [2, 3, 7, 12–14].

Сегодня в России действуют 172 теплоэлектростанции, работающие на твердом топливе. Каждый год подвергается сжиганию 1,5 млрд т угля с процентом зольности, равным 21,8. Это соответствует 30 млн т золошлаковых отходов в год, 90% из них складироваются в золоотвалах, хотя могли бы вторично использоваться в хозяйственном обороте [6]. Так, в странах Западной Европы и Японии золоотвалы при электростанциях почти ликвидированы, отходы используют в самых разных отраслях промышленности. Например, в Китае и Болгарии зола бесплатна для потребителей [1]. В Великобритании золу сбывают через специальные региональные центры. В США на законодательном уровне обязали строителей применять золу ТЭС для производства бетонов, в противном случае им грозят штрафные санкции [11]. В Индии законом определен статус золошлаковых материалов: они являются ценным материалом техногенного производства, так как в их состав входит большое количество химических элементов [15].

На территории нашей страны лишь несколько электростанций (среди них Красноярская ТЭЦ-1, ТЭЦ-22 «Мосэнерго», Омская ТЭЦ-4) используют полную переработку отходов ТЭС, что составляет лишь 10% от уровня прогрессивного зарубежного опыта. Тогда как во Франции этот уровень равен 50%, в Германии – 70%, в Финляндии достигает 90% [4, 5].

Применение золошлаковых отходов особенно актуально в российских регионах, где имеется дефицит стандартных дорожно-строительных материалов, таких как щебень, песок, цемент, так как золошлаковые отходы могут быть успешно применены в данной области [8]. Например, с применением зол и золошлаковых смесей построено 300 км дорог по направлениям Москва–Серпухов, Москва–Рига, Москва–Кашира. Активно были использованы отходы ТЭС на автодороге Алтай–Кузбасс для отсыпки слоев земляного полотна и в конструктивных слоях дорожных одежд [9].

Следует также отметить, что вторичное использование материалов и поиски рациональных решений и инновационных технологий для дорожной отрасли являются приоритетной задачей Транспортной стратегии РФ на ближайшие годы [10]. Актуальность этого вопроса значительно возрастает с увеличением отходов ТЭС и активно развивающимся дорожным строительством. Для грунтовых дорог особенно актуальны поиски и разработка методик и составов грунтов, улучшенных добавками различной природы, где могут использоваться золошлаки. Целью исследования является изучение возможности применения золошлаковых отходов для укрепления дорожной одежды дорог IV–V категорий.

Методика проведения опытно-экспериментальных работ

Для апробации эффективности применения золошлаковых отходов укрепления основания дорог IV–V категорий были проведены экспериментально-опытные работы на автомобильной дороге Новая Кука–Могзон–Хилок, которая является частью дороги регионального значения IV технической категории и связующим звеном с автомобильной дорогой федерального значения «Байкал». Дорога на одном из участков находилась в аварийном состоянии, движение по ней транспорта было затруднено (рис. 1).

Особенность опытного участка состояла в том, что практически на всей его протяженности (950 м) из-за отсутствия стока грунтовых вод с верховой стороны от дороги местность практически вся заболочена. Именно поэтому для защиты земляного полотна от поверхностных вод были установлены противодиффузионный экран глубиной 2–2,5 м, длиной 550 м и водоотводная канава. Таким образом удалось устранить избыточное увлажнение земляного полотна.

На самом проблемном участке земляного полотна, где наблюдались постоянные перекосы и просадки, установили грунтоцементные сваи с шагом 1,5 м, глубиной 2,5–3,0 м.

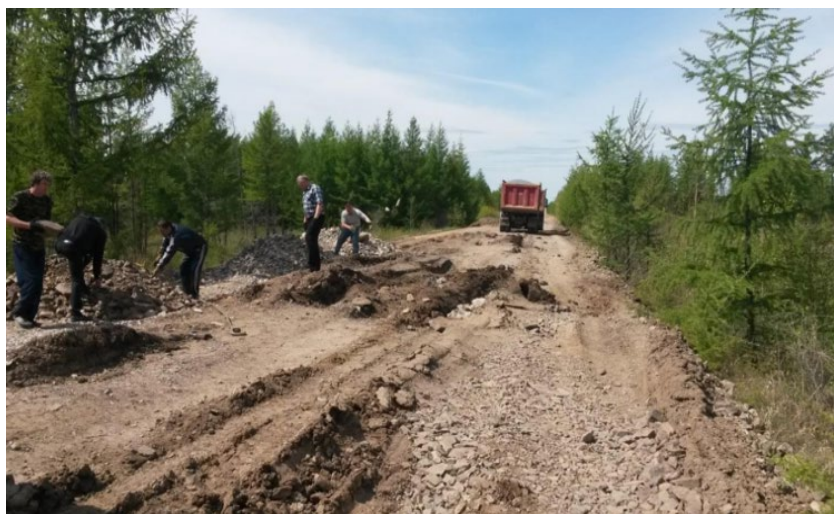


Рис. 1. Экспериментальный участок автодороги Новая Кука–Могзон–Хилок по состоянию на июль 2015 г.

До начала работ по устройству дорожной одежды было произведено профилирование насыпи: отсыпан выравнивающий слой земляного полотна, что устранило ямочность, перекосы и гребенку. Перед тем как нарезать водоотводные канавы с обеих сторон насыпи, расчистили полосы от кустарника и мелколесья, досыпали откосы земляного полотна и сделали планировку, необходимую для обеспечения нормативной ширины дороги 10 м (6 м для проезжей части, 2 м для обочины).

Для укрепления дорожной одежды на опытном участке дороги использовали золошлаковую смесь Читинской ТЭЦ-2.

Анализ золошлаковой смеси (ЗШС), проведенный в аккредитованной испытательной лаборатории «Строительные материалы» Забайкальского института железнодорожного транспорта ИрГУПС, показал, что по зерновому составу смесь типа С (среднезернистая с максимальной крупностью зерен 20 мм) содержит 48% шлаковой составляющей (при норме от 10 до 50%), в том числе фракции щебня (от 5 до 20 мм) – 13,0%, песковой фракции (от 2,5 до 0,63 мм) – 35,0%. Удельная поверхность частиц составляет 251 м²/кг (при норме не менее 150 м²/кг). Стойкость шлакового щебня железистому распаду составляет 7,69% (при норме не более 5%), силикатному распаду – 40,0% (при норме не более 8%). По химическому составу золошлаковая смесь относится к инертным материалам. При соответствии показателей относительного морозного пучения требованиям нормативной документации золошлаковая смесь Читинской ТЭЦ-2 может применяться в дорожном строительстве III и IV дорожно-климатической зоны для устройства дополнительных (дренирующих, морозозащитных, теплоизолирующих) слоёв дорожных одежд. При этом следует учитывать низкую сопротивляемость шлакового щебня против железистого и силикатного распада и использовать золошлаковую смесь как песковую фракцию (с наибольшим размером зерен менее 5 мм).

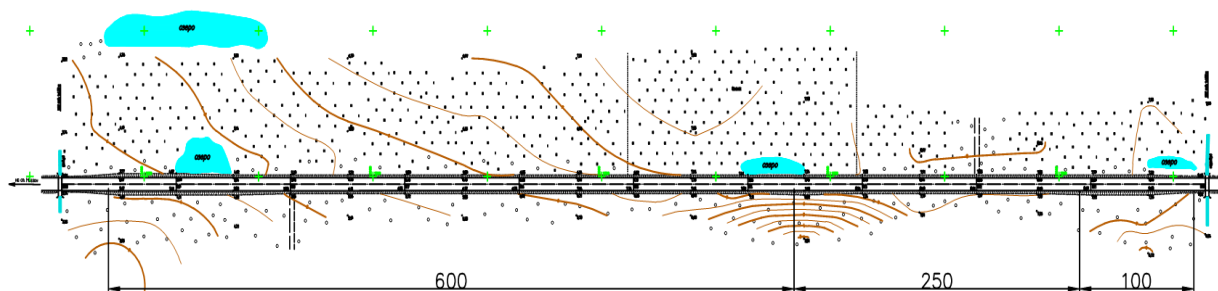
Проведенные полные испытания укрепленных грунтов (супеси с содержанием глинистых частиц 5,7%) с добавкой золошлаковой смеси показали, что укрепление цементом супеси с содержанием глинистых частиц 5,7% без применения стабилизаторов невозможно, так как образцы не соответствуют требованиям морозостойкости (п. 8.43 СП 34.13330.2012). Укрепление супеси с содержанием глинистых частиц 5,7% с применением стабилизатора АНТ при расходе цемента 8% от массы сухого скелета грунта рекомендуется к дальнейшему применению, так как все физико-механические свойства укрепленных грунтов соответствуют требованиям нормативной документации. Укрепление супеси с содержанием глинистых частиц 5,7% с применением стабилизатора «Криогелит» при расходе цемента 8% от массы сухого скелета грунта

рекомендуется к дальнейшему применению, так как все физико-механические свойства укрепленных грунтов удовлетворяют требованиям нормативной документации. Укрепление супеси с содержанием глинистых частиц 5,7% с применением в качестве стабилизатора битумной эмульсии (в количестве 6% от массы грунта) при расходе цемента 7% от массы сухого скелета грунта рекомендуется к дальнейшему применению при обеспечении тщательного перемешивания и достижения нужной однородности смеси, только в этом случае физико-механические свойства укрепленных грунтов удовлетворяют требованиям нормативной документации. При уменьшении расхода цемента образцы разрушаются при водонасыщении (капиллярном и полном) без приложения нагрузки.

Таким образом, на опытном участке использовали следующие составы (процент от массы сухого грунта) (рис. 2):

- ЗШС – 10%, цемент – 8%, АНТ – 0,071%;
- ЗШС – 10%, цемент – 8%, криогелит – 1%;
- ЗШС – 10%, цемент – 7%, битумная эмульсия – 6%.

Для распределения и перемешивания цемента, воды и стабилизаторов с грунтом и золошлаковой смесью применили установку, сконструированную на базе Забайкальского института железнодорожного транспорта. Объем бункера для цемента – 3 м³, объем емкости для воды и стабилизатора – 1 м³ (см. рис. 2).



**Рис. 2. Работы по устройству дорожной одежды в 2015 г.:
600 м – состав со стабилизатором «Криогелит», 250 м – состав со стабилизатором «АНТ»,
100 м – состав со стабилизатором «Битумная эмульсия»**

Дополнительно для перемешивания использовалась навесная сельскохозяйственная фреза. До оптимальной влажности грунта использовали поливомоечную машину, после чего перемешивался цементогрунт.

Уплотнение производилось гладковальцовым катком по 8 проходов по одному следу.



Рис. 3. Опытная установка для распределения цемента, воды, стабилизаторов и их перемешивание

Дорожная одежда с битумной эмульсией имела недостатки: эмульсия сложно перемешивалась с грунтом и битум «выпотевал». С учетом данных минусов вместо битумной эмульсии была устроена дорожная одежда с ускорителем твердения. По итогам производства опытных работ была устроена дорожная одежда трех типов (рис. 4, 5).

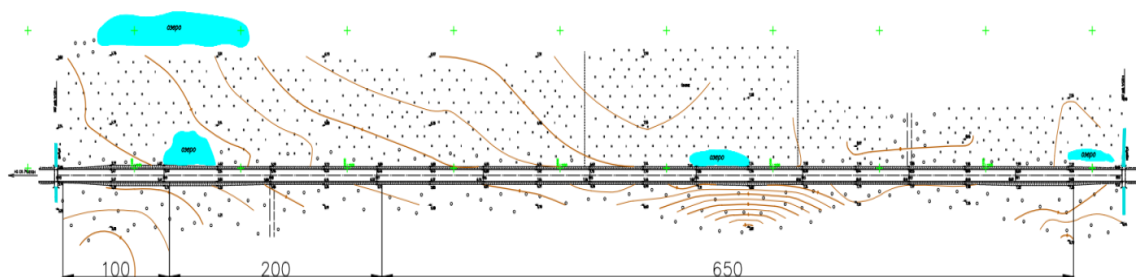


Рис. 4. Работы по устройству дорожной одежды в 2016 г.:
 100 м – цементогрунтовая одежда со стабилизатором «АНТ»; 200 м – цементогрунтовая одежда со стабилизатором «АНТ» и ускорителем твердения; 650 м – цементогрунтовая одежда со стабилизатором «Криогелит»



Рис. 5. Вид готового опытного участка (2016 г.)

Результаты

Проведенные опытно-экспериментальные работы по внедрению золошлаковых отходов для укрепления дорожной одежды дорог IV–V категорий позволили сделать следующие выводы:

1. Мероприятия по осушению болота с верховой стороны путем устройства противодиффузионного экрана и нарезкой водоотводной канавы рекомендуются при наличии поверхностных вод у подошвы и тела насыпи и проникновении грунтовых и поверхностных вод со стороны подпора.

2. Усиление земляного полотна грунтоцементными сваями рекомендуется в случае просадок и перекосов насыпи, при недостаточном коэффициенте устойчивости и коэффициенте стабильности насыпи.

3. Золошлаковая смесь Читинской ТЭЦ-2 может применяться в дорожном строительстве в качестве гранулометрической добавки.

4. Реализация мероприятий по усилению дорожного полотна с применением золошлаковых материалов позволила успешно эксплуатировать дорогу на протяжении 7 лет без проведения ремонта (рис. 6).

Исследования прочности автомобильной дороги Новая Кука-Могзон-Хилок км 55+000 – км 55+950 IV технической категории в Забайкальском крае показали величины модуля упругости (см. таблицу).



Рис. 6. Экспериментальный участок автодороги по состоянию на август 2022 г.

Величины модуля упругости

Характеристика дорожной одежды экспериментального участка	E_f , МПа (среднее значение фактического модуля упругости)	E_f , МПа (минимальный фактический модуль упругости для величины надежности 82%)
Участок № 1 Дорожная одежда из цементогрунта со стабилизатором Криогелит на участке земляного полотна с цементогрунтовым экраном	136	107
Участок № 2 Дорожная одежда из цементогрунта с ускорителем твердения	139	130
Участок № 3 Дорожная одежда из цементогрунта со стабилизатором «ANT»	169	153

Полученные значения модулей упругости характеризуют прочность участка дороги для текущих температурных и климатических условий.

Минимальный модуль упругости, $E_f=107$ МПа, позволяет обеспечить требуемую минимальную прочность для дороги IV технической категории согласно ОДН 218.1.052-2002, которая составляет 100 МПа.

Мониторинг состояния опытно-экспериментального участка в 2015–2022 гг. показал эффективное применение золошлаковых смесей для укрепления дорожной одежды. Однако следует отметить, что цементогрунтовая дорожная одежда используется в качестве основания для автомобильных дорог IV технической категории, поэтому на опытном участке необходимо устройство слоя покрытия для ее защиты, что подтверждается результатами мониторинга.

Благодарности

Работа проводилась в рамках государственного контракта «Применение золошлаковых смесей Забайкальских энергетических станций при выполнении дорожных работ на автомобильных дорогах Забайкальского края» под руководством доктора технических наук, профессора Н.П. Сигачева. Авторы выражают глубокую благодарность руководителю работ за предоставленные материалы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р., Добронравов А.Д., Шамсутдинов Э.В. Комплексное использование золошлаковых отходов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 7–8. С. 26–36. EDN: UYCPYJ
2. Балабанов В.Б., Николаенко В.Л. Применение зольных отходов в дорожном строительстве // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 6(53). С. 37–41. EDN: NXNAYV
3. Бирюков В.В., Метелев С.Е., Сиротюк В.В., Шевцов В.Р. Эффективные направления крупномасштабного использования золошлаковых отходов // Сибирский торгово-экономический журнал. 2008. № 7. С. 66–77. EDN: NCNUQZ
4. Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Magazine of Civil Engineering. 2011. № 4.
5. Опыт использования активных и неактивных зол ТЭС Франции в дорожном строительстве // Повышение эффективности производства и качества дорожных работ: экспресс-информ. / ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. 1977. Вып. 18. 31 с.
6. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. № 4. С. 77–87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077
7. Рациональное применение золы ТЭЦ: результаты научно-практических исследований / сост. Э.П. Гужулев, Ю.Т. Усманский. Омск, 1998.
8. Соловьев Л.П., Пронин В.А. Утилизация зольных отходов тепловых электростанций // Modern high technologies. 2011. № 3. С. 40–42.
9. Таскин А.В., Слесаренко В.В. Технологические аспекты утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций // Сборник научных работ II международной научной конференции Евразийского научного объединения (г. Москва, февраль 2015). Москва: ЕНО, 2015. 350 с.
10. Хамраева Р.Б., Герасимова А.А., Сафронов М.В. Перспективы переработки золошлаковых отходов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. № 14.
11. Хлопицкий А.А., Макаренко Н.П. Перспективы утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций // Universum: технические науки. 2013. № 1. EDN: RPZKVV
12. Aineto M., Acosta A., Rincon J. Ma., Romero M. Thermal expansion of slag and fly ash from coal gasification in IGCC power plant. *Fuel*. 2006;85(16):2352-2358. DOI: 10.1016/j.fuel.2006.05.015
13. Lahtinen P. Fly ash mixtures as flexible structural materials for low-volume roads: Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Helsinki, 2001. 102 p.
14. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. *Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads*. Lahti, 1999. 7 p.
15. Xiaotong Ch., Jiexin Sh., Jun Zh., Rongsheng Ch., Younian D., Fan Zh. Dongnan daxue xuebao. Ziran kexue ban. *J. Southeast Univ. Natur. Sci. Ed.* 2001;31(3).

Original article

DOI: <http://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/132-140>

Svalova K., Krivchenko O.

KRISTINA V. SVALOVA, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
kristi24091990s@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3644-5242>OLGA V. KRIVCHENKO, Master Student, olyakrikrivchenko@yandex.ru,
<https://orcid.org/0009-0000-2151-1422>

Department of Civil Engineering

Transbaikal State University

Chita, Russia

**Strengthening the road pad with ash and slag mixtures
(on the example of the Transbaikal territory)**

Abstract. The article is devoted to the assessment of the use of ash and slag mixtures for strengthening the pavement of highways of categories IV-V on the example of the Trans-Baikal Territory. The composition of the ash and slag mixture of the Chita CHPP-2 was studied, which showed that, if the relative frost heaving indicators correspond to the requirements of regulatory documentation, the mixture can be used in road construction of the III and IV road-climatic zones for the installation of additional (draining, frost-protective, heat-insulating) layers of pavement. The most effective compositions consisting of ash and slag mixture, cement and stabilizers ANT, Cryogelite, bitumen emulsion were determined. The results of the experimental introduction of these trains on the section of the Novaya Kuka–Mogzon–Khilok highway in 2015–2016 are presented. Studies of the strength of the obtained cement-soil clothes showed a sufficient level of the modulus of elasticity, equal to 107 MPa, which makes it possible to provide the required minimum strength of 100 MPa for a road of IV technical category. Monitoring of the road section in 2022 showed that the implementation of measures to strengthen the roadway using ash and slag materials made it possible to successfully operate the road for 7 years without repairs.

Keywords: pavement, ash and slag mixture, CHPP waste, cement soil, stabilizers

For citation: Svalova K., Krivchenko O. Strengthening the road pad with ash and slag mixtures (on the example of the Transbaikal territory). *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2023;(3):132–140. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Afanas'eva O.V., Mingaleeva G.R., Dobronravov A.D., SHamsutdinov E.V. Comprehensive use of ash and slag waste. *Izvestiya vuzov. Problemy energetiki*. 2015;(7-8):26–36. (In Russ.).
2. Balabanov V.B., Nikolaenko V.L. Application of ash waste in road construction. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011;(6):37–41. (In Russ.).
3. Biryukov V.V., Metelev S.E., Sirotiyuk V.V., SHEvcov V.R. Effective directions for large-scale use of ash and slag waste. *Sibirskij torgovo-ekonomicheskij zhurnal*. 2008;(7):66–77. (In Russ.).
4. Vatin N.I., Petrosov D.V., Kalachev A.I., Lahtinen P. Use of ashes and ash-and-slag wastes in construction. *Magazine of Civil Engineering*. 2011;(4):16–21. (In Russ.).
5. Experience of using active and inactive ash from French thermal power plants in road construction. *Improving production efficiency and quality of road work: express-inform*. CBNTI Minavtodora RSFSR. 1977;(18):31. (In Russ.).
6. Pichugin E.A. Analytical review of the experience of involving ash slag waste of thermal power plants in economic circulation in the Russian Federation. *Problemy regional'noj ekologii*. 2019;(4):77–87. (In Russ.). DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077

7. Rational use of thermal power plant ash: results of scientific and practical research / E.P. Guzhulev, YU.T. Usmanskij. Omsk, 1998. (In Russ.).
8. Solov'ev L.P., Pronin V.A. Disposal of ash waste from thermal power plants. *Modern high technologies*. 2011;(3):40–42. (In Russ.).
9. Taskin A.V., Slesarenko V.V. Technological aspects of recycling ash and slag waste from thermal power plants. *Collection of scientific papers of the II International Scientific Conference of the Eurasian Scientific Association (Moscow, February 2015)*. Moscow, ENO. 2015. 350 p. (In Russ.).
10. Hamraeva R.B., Gerasimova A.A., Safronov M.V. Prospects for processing ash and slag waste. *Current problems of aviation and astronautics*. 2018;(14). (In Russ.).
11. Hlopickij A.A., Makarchenko N.P. Prospects of utilizing ashes and slag waste of thermal power plants. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2013;(1). (In Russ.).
12. Aineto M., Acosta A., Rincon J. Ma., Romero M. Thermal expansion of slag and fly ash from coal gasification in IGCC power plant. *Fuel*. 2006;85(16):2352-2358. DOI: 10.1016/j.fuel.2006.05.015
13. Lahtinen P. Fly ash mixtures as flexible structural materials for low-volume roads: Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Helsinki, 2001. 102 p.
14. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads. Lahti, 1999. 7 p.
15. Xiaotong Ch., Jiexin Sh., Jun Zh., Rongsheng Ch., Younian D., Fan Zh. Dongnan daxue xuebao. Ziran kexue ban. *J. Southeast Univ. Natur. Sci. Ed.* 2001;31(3).