

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2023, Том 10, № 3 / 2023, Vol. 10, Iss. 3 <https://t-s.today/issue-3-2023.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/08SATS323.pdf>

DOI: 10.15862/08SATS323 (<https://doi.org/10.15862/08SATS323>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

## Оценка состояния и технико-экономическое обоснование способа укрепления дорожной одежды с применением золошлаковых смесей

Сигачев Н.П., Свалова К.В., Кривченко О.В.

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Свалова Кристина Витальевна, e-mail: [kristi24091990s@yandex.ru](mailto:kristi24091990s@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрен способ укрепления дорожной одежды с применением золошлаковых смесей. В вводной части дано пояснение о проведенных опытно-экспериментальных работах по укреплению дорожной одежды составами на основе цемента, золошлаковой смеси и стабилизирующих добавок (АНТ, криогелит, битумная эмульсия). Приведены результаты мониторинга состояния автомобильной дороги (2015–2022 гг.), укрепленной составами с применением золошлаковых смесей с фото фиксацией изменений и технико-экономическое обоснование предложенных решений. Мониторинг состояния экспериментального участка проводился согласно ОДМ 218.0.000-2003 «Руководство по оценке уровня содержания автомобильных дорог». Технико-экономическое обоснование принято по федеральным единичным расценкам. Просчитана сравнительная стоимость вариантов при дальности возки грунта 10 км и цемента, золошлаковой смеси, золы и добавок — 100 км в базовых ценах ФЕР 2001 года. Построены зависимости стоимости устройства

дорожной одежды от способа и дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок при расстоянии до грунтового карьера от 4 до 10 км. Результаты мониторинга показали, что цементно-грунтовая дорожная одежда с применением золошлаковых смесей может эффективно использоваться в качестве основания для автомобильных дорог IV технической категории, однако необходимо устройство слоя покрытия для ее защиты.

Работа проводилась в рамках Государственного контракта «Применение зол-уноса и золошлаковых смесей Забайкальских энергетических станций при выполнении дорожных работ на автомобильных дорогах Забайкальского края».

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы; укрепление; золошлаковые смеси; дорожное строительство; стабилизаторы; мониторинг; технико-экономическое обоснование

## State and technical and economic assessment of the road pavement reinforcement method with the bottom-ash mixtures use

Nikolai P. Sigachev, Kristina V. Svalova, Olga V. Krivchenko

Zabaikalsky State University, Chita, Russia

**Corresponding author:** Kristina V. Svalova, e-mail: [kristi24091990s@yandex.ru](mailto:kristi24091990s@yandex.ru)

**Abstract.** The article considers the road pavement reinforcement method with the use of bottom-ash mixtures. In the introductory part, there is an explanation about the conducted experimental works on road pavement strengthening with the cement, bottom-ash mixtures compositions base and stabilising additives (ANT, cryogelite, bitumen emulsion). The monitoring results of the motorway condition (2015–2022), reinforced with bottom-ash mixtures with photo committing changes and technical and economic assessment of the proposed solutions are given. Test section condition monitoring was carried out in accordance with Road industrial methodical document 218.0.000-2003 «Guidelines for assessing the level of maintenance of motorways». Technical and economic assessment is based on the Federal Unit Rates. The

comparative options cost with the soil transportation distance of 10 km and cement, bottom-ash mixture, ash, and additives — 100 km in base prices of Federal Unit Rates 2001 has been calculated. Dependences of the road pavement construction cost on the cement transportation method and distance, bottom-ash mixture, ash, and additives transportation at the distance to the soil bank from 4 to 10 km have been constructed. Monitoring results showed that cement-soil road pavement with bottom-ash mixtures can be effectively used as a base for IV technical category motorways, but it is necessary to arrange a layer of pavement for its protection.

**Keywords:** bottom-ash wastes; reinforcement; bottom-ash mixtures; road construction; stabilisers; monitoring; technical and economic assessment

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



## Введение

### Introduction

Транспортная стратегия России до 2030 года устанавливает один из основных экономических трендов — это ресурсосбережение и использование новых технологий и материалов для развития транспортной сети. Дорожная отрасль требует больших объемов строительных материалов. С целью экономии затрат при строительстве и реконструкции автомобильных дорог намечается тенденция к замене природных материалов на различные отходы производства. Это является современным подходом, так как одновременно решается две задачи: экономическая и экологическая. Примером может служить применение золошлаковых отходов для разного вида задач в дорожной отрасли: для возведения земляного полотна, укрепления основания и дорожной одежды, в качестве добавки в асфальтобетонных смесях. Золошлаковая смесь (ЗШС) — это продукты сгорания тепловых энергетических станций. Они представляют из себя смесь золы уноса и шлака, образующегося при их совместной утилизации в золоотвал [1–3].

Рассматриваемый вопрос не теряет актуальности, так как объем отходов ТЭЦ возрастает с каждым годом, увеличиваются расходы на их содержание. Существующие золоотвалы наносят экологический ущерб окружающей среде [4; 5].

На территории Забайкальского края существует несколько тепловых энергетических станций. К ним относятся Читинская ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, ТЭЦ ПАО «ППГХО» г. Краснокаменск.

Основной технологией добычи золошлаковых смесей и зол-уноса на Читинской ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 является их механизированный забор на золоотвалах, поэтому основные работы осуществляются за счет погрузчиков и автосамосвалов с транспортировкой до места дальнейшего использования.

Процесс добычи зол уноса (ЗУ) и золошлаковых смесей (ЗШС) делится на следующие виды работ:

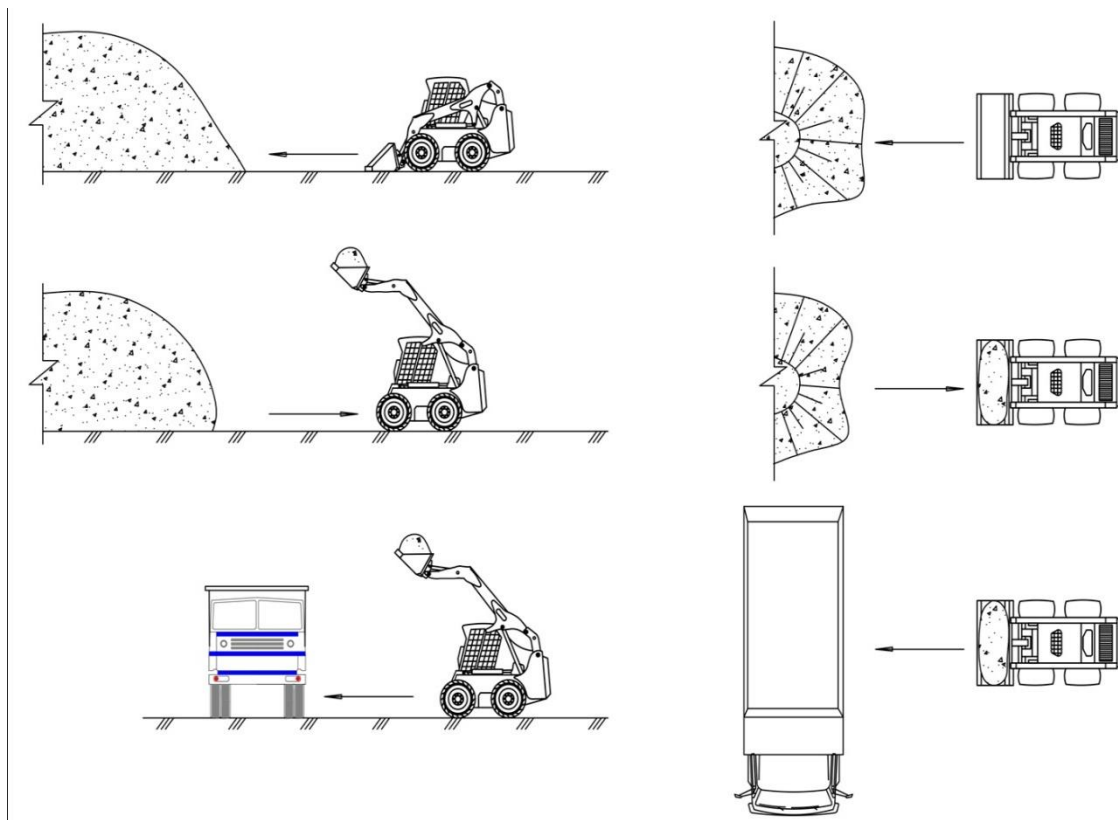
1. Подготовительные работы включают разработку и согласование проекта и рабочей документации по изъятию ЗУ и ЗШС из золоотвалов ТЭЦ. Разработка проектной документации осуществляется организацией, имеющей разрешение на соответствующий вид проектной деятельности; выполнение и корректировку действующего «Проекта эксплуатации золоотвала» соответствующей ТЭЦ; разработку и согласование Проекта производства работ по изъятию ЗУ и ЗШС из золоотвала ТЭЦ; оформление договорных отношений на предмет изъятия ЗУ и ЗШС из золоотвалов ТЭЦ; при проведении работ по изъятию ЗУ и ЗШС необходимо обеспечить

выполнение требований ПБ 03-48-02 (ГТС) «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов», РД 34.03.201-97(2000) «Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей», СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве» и других действующих в настоящее время требований нормативно-технических документов; выезд на золоотвал с представителями ТЭЦ; определение места добычи; обеспечение беспрепятственного подъезда техники; подготовку персонала; подготовку места приемки ЗУ и ЗШС с соблюдением требований безопасности.

2. Основные работы включают вскрытие верхнего слоя толщиной 20–30 см; осуществление погрузочных работ погрузчиками; транспортировку автосамосвалами.

3. Окончание работ: после выработки места добычи необходимо согласовав с собственниками золоотвала произвести засыпку выработанного места грунтом либо иное предложенное собственником.

Схема погрузки золошлакового материала представлена на рисунке 1:



*Рисунок 1. Схема погрузки золошлаковых материалов (материалы авторов)*

*Figure 1. Bottom-ash materials loading plan (materials by the authors)*

Читинская ТЭЦ 2 образует ЗУ и ЗШС порядка 124 000 т/год. Данное количество в большинстве своем образуется в зимний период времени (отопительный сезон) — около 80 000 т.

Поскольку золоотведение с ТЭЦ является мокрым то добыча ЗУ и ЗШС должна осуществляться в теплый период времени (с мая по сентябрь). Это связано с тем, что при понижении температуры влага, содержащаяся в отходах ТЭЦ, будет приводить к образованию комков и глыб, что сделает нецелесообразным дальнейшее ее применение, поскольку необходимо будет сначала оттаять и просушить добытые ЗУ и ЗШС.

На ТЭЦ ПАО «ППГХО», расположенной в г. Краснокаменск установлено сухое золоудаление, что делает процесс добычи зол уноса менее трудоемким. Забор зол уноса можно осуществлять непосредственно на самой ТЭЦ специализированными машинами, либо в момент транспортировки отходов ТЭЦ до места захоронения.

Процесс добычи ЗУ делится на следующие виды работ:

Подготовительные работы включают следующие этапы:

- подготовка разрешительной документации;
- оформление договорных отношений на предмет изъятия зол уноса на самой ТЭЦ либо о смене места разгрузки;
- при проведении работ по изъятию ЗУ необходимо обеспечить выполнение требований ПБ 03-48-02(ГТС) «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов», РД 34.03.201-97(2000) «Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей», СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве» и других действующих в настоящее время требований НТД;
- подготовка места принятия ЗУ с соблюдением всех требований техники безопасности и нормативных документов;
- при наличии специализированной техники, для перевозки ЗУ, подготовка и обучение персонала;
- подготовка места приема ЗУ с соблюдением требований безопасности.

Основные работы:

- подача автомобиля под погрузку (автомобиль должен соответствовать требованиям, предъявляемым к данным видам техники);

- загрузка автомобиля ЗУ;
- транспортировка до места разгрузки;
- разгрузка ЗУ с соблюдением требований техники безопасности.

Прочие работы:

- обеспечить беспрепятственный подъезд к месту разгрузки.

Поскольку забор золы уноса с ТЭЦ ПАО «ППГХО» в г. Краснокаменск можно осуществлять круглогодично, это значительно удешевляет процесс добычи. Во-первых, нет необходимости в складировании зол уноса с целью накопления. Во-вторых, нет необходимости в привлечении дополнительных единиц техники и людских ресурсов. В-третьих, поскольку зола уноса сухая и имеет более мелкую структуру, то нет необходимости в ее сушке и дополнительном помоле.

Обоснованием применением золошлаковых смесей для решения разного вида задач в дорожной сфере посвящено множество работ различных ученых [6–10]. Так известно, что отвальные золошлаковые отходы могут найти применение в качестве:

- грунта оснований для устройства дорожных насыпей;
- материала для укрепления цементом и другими вяжущими для устройства оснований и слоев дорожных одежд;
- добавки к извести (золоизвестковое вяжущее) для укрепления грунтов и каменных материалов;
- добавки взамен песка и минерального порошка при приготовлении асфальтобетонной смеси [11–14].

Поверхностные слои грунтов, которые используются в практике дорожного строительства, обычно представлены связными глинистыми грунтами (супесями, суглинками, глинами) и значительно реже на больших площадях залегают несвязные грунты: песчаные и гравелистые. При выборе и разработке эффективных технологий улучшения свойств грунтов с помощью стабилизаторов, вяжущих или при совместном их применении, определяющее значение имеет минералогический состав грунта. Грунты, особенно связные, являются полиминеральными и полидисперсными системами.

Поэтому, при обработке грунта активными химическими добавками — стабилизаторами, задача улучшения свойств грунта, в том числе и повышение его прочности — это задача превращения в монолитную цементированную массу мелкодробленых прочных частиц. Укрепление грунтов вяжущими (цемент, битум, известь) является дорогостоящим и приводит к увеличению стоимости строительства.



Эффективнее использовать химические добавки специального действия — стабилизаторы.

В практике современного дорожного строительства для получения прочных и долговечных искусственно преобразованных грунтов существует широкий арсенал разнообразных веществ и методов. С целью уменьшения необходимого количества вяжущих и повышения прочности и качества органоминеральных и цементобетонных смесей стали использовать различные добавки типа поверхностно-активных веществ (ПАВ) и катализаторов.

За счет использования таких активных добавок определилась возможность уменьшить количество необходимых вяжущих, не снижая качества материала.

Выпускаемые в настоящее время стабилизаторы грунтов, в основном, иностранного производства, и их правильный выбор для целей направленного изменения свойств грунтов не всегда достигает положительных результатов по причине их сложного состава и не в полной мере их правильной оценки влияния на свойства грунта.

Перспективным способом улучшения качества грунтов является способ комплексного воздействия на них стабилизаторов и вяжущих. В этом случае проявление механизма воздействия отдельных стабилизаторов на грунтовую дисперсную систему может быть максимально эффективным при обосновании и учете всех факторов взаимодействия участвующих компонентов.

Экономический эффект от применения стабилизированных грунтов требует контроля и оценки в каждом конкретном случае, исходя из сравнения с проектными решениями. Так же при этих оценках необходимо учитывать возможность снижения толщины дорожной одежды или ее долговечности вследствие повышения прочности стабилизированных грунтов.

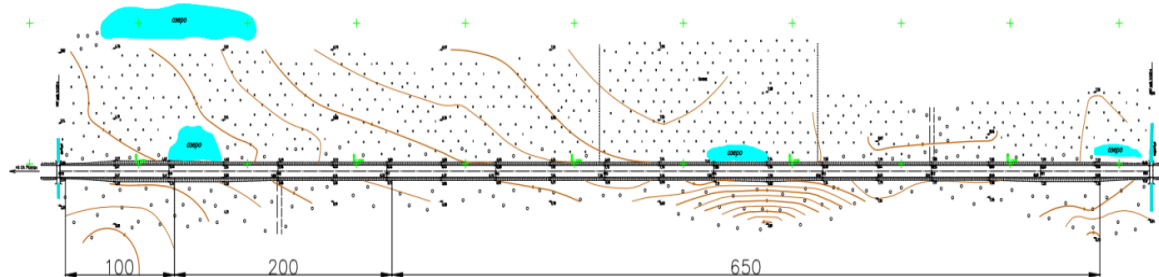
В последние годы для обработки глинистых грунтов в России стали применяться стабилизаторы нового поколения. Эти стабилизаторы в своем составе содержат не только химические соединения, рассмотренные выше, но и небольшие добавки вяжущих (до 2 %). Возможность использования местных (глинистых) грунтов обусловлена за счет улучшения их строительных свойств путем проведения мероприятий, повышающих устойчивость и прочность возводимых насыпей [15].

На территории Забайкальского края в 2015 году на автомобильной дороге регионального значения IV технической категории Новая Кука — Могзон — Хилок были проведены опытно-экспериментальные работы по укреплению дорожной одежды составами на основе цемента,

золошлаковой смеси и стабилизирующих добавок (АНТ, криогелит, битумная эмульсия) в следующих пропорциях (указан процент от массы сухого грунта):

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

Была устроена дорожная одежда трех типов (рис. 2).



100 м — цементогрунтовая одежда со стабилизатором «АНТ»; 200 м — цементогрунтовая одежда со стабилизатором «АНТ» и ускорителем твердения; 650 м — цементогрунтовая одежда со стабилизатором Криогелит

100 m — cement and soil road pavement with ANT stabilizer; 200 m — cement and soil road pavement with ANT stabiliser and hardening agent; 650 m — cement and soil road pavement with Cryogelite stabiliser

**Рисунок 2.** Работы по устройству дорожной одежды на опытно-экспериментальном участке (материалы авторов)

**Figure 2.** Road paving works on the experimental and development site (materials by the authors)

На рисунках 3, 4 представлена фото фиксация экспериментального участка автодороги соответственно до и после мероприятий по укреплению дорожной одежды.



**Рисунок 3.** Экспериментальный участок автодороги по состоянию на июль 2015 г. (фото авторов)

**Figure 3.** Experimental road section as of July 2015 (photo by the authors)





*Рисунок 4. Вид готового опытного участка (2016 год) (фото авторов)*

*Figure 4. View of the completed experimental section (2016) (photo by the authors)*

Целью настоящей работы является мониторинг состояния автомобильной дороги (2015–2022 гг.), укрепленной составами с применением золошлаковых смесей и технико-экономическое обоснование предложенных решений.

## Методы

### Methods

Мониторинг состояния экспериментального участка проводился согласно ОДМ 218.0.000-2003 «Руководство по оценке уровня содержания автомобильных дорог». Техничко-экономическое обоснование принято по федеральным единичным расценкам.

## Результаты

### Results

Результаты мониторинга приведены в таблице 1.

По результатам мониторинга установлено, что после устройства опытного участка со стабилизатором битумная эмульсия наблюдалось выпотевание битума и его неравномерное распределение, после чего стабилизатор битумная эмульсия исключен из применения на опытном участке.

Во время выполнения работ устранены повреждения земляного полотна, нарезаны водоотводные каналы, полоса отвода расчищена от растительности, устроено основание дорожной одежды.

Таблица 1 / Table 1

Ведомость мониторинга фактического уровня состояния автомобильной дороги

Monitoring log of the actual level of motorway condition

Код Code	Показатели состояния конструктивных элементов, дефекты содержания дорог Condition indicators of structural elements, road maintenance defects	Участки с выявленными дефектами и их характеристика по состоянию на Sections with identified defects and their characterisation as of						
		01.06.2015	20.10.2015	01.05.2016	06.07.2016	17.08.2016	01.05.2022	20.08.2022
<b>Земляное полотно и полоса отвода Earth bed and right-of-way</b>								
1.1	Возвышение обочин и разделительной полосы над проезжей частью. Занижение обочин и разделительной полосы относительно кромки проезжей части более 4 см Road-side elevation and dividing strip above the roadway. Road-side underestimation and dividing strip in relation to the roadway edge more than 4 cm	нет по	нет по	нет по	нет по	нет по	нет по	нет по
1.2	Отдельные повреждения, просадки неукрепленных обочин Some damage, hollow spots of unreinforced road-side	<u>км 55 + 000 — км 55 + 950</u> Наличие на обочине деформаций в виде колеи, просадок или ямочности. Скопление воды на обочине, вызванное недостаточным или обратным поперечным уклоном, наличием деформаций km 55+000 — km 55+950 Deformations on the road-side in the form of wheel tracking, hollow spots or patching. Water accumulation on the roadside caused by insufficient or reverse horizontal slope, deformations	<u>нет по</u>	<u>нет по</u>	<u>нет по</u>	<u>нет по</u>	<u>нет по</u>	<u>нет по</u>

Код Code	Показатели состояния конструктивных элементов, дефекты содержания дорог Condition indicators of structural elements, road maintenance defects	Участки с выявленными дефектами и их характеристика по состоянию на Sections with identified defects and their characterisation as of						
		01.06.2015	20.10.2015	01.05.2016	06.07.2016	17.08.2016	01.05.2022	20.08.2022
1.3	Отдельные повреждения укрепительных полос Individual damage to reinforcement strips	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no
1.4	Дефекты и разрушения земляного полотна и системы водоотвода, не влияющие на безопасность движения Roadway and drainage system defects and damages that do not affect traffic safety	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Полное отсутствие водоотвода, канавы заилены, заросли травой, кустарником и мелколесьем. Не обеспечен продольный уклон, свободный пропуск воды, наличие застоя воды у тела земляного полотна km 55+000 — km 55+950 Complete water drainage absence, ditches are silted up, and overgrown with grass, bushes, and small forest. No longitudinal slope, free water passage, and water stagnation at the body of the roadway	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Частичное отсутствие водоотводных каналов km 55+000 — km 55+950 Partial absence of drainage ditches	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Частичное отсутствие водоотводных каналов km 55+000 — km 55+950 Partial lack of drainage ditches	нет no	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Частичное отсутствие водоотводных каналов km 55+000 — km 55+950 Partial absence of drainage ditches	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Частичное отсутствие водоотводных каналов km 55+000 — km 55+950 Partial absence of drainage ditches	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Частичное отсутствие водоотводных каналов km 55+000 — km 55+950 Partial absence of drainage ditches
1.5	Неорганизованные съезды Unorganised exits	<u>км 55+200,</u> <u>км 55+700,</u> <u>км 55+800</u> km 55+200, km 55+700, km 55+800	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no
1.6	Растительность в полосе отвода снижающая нормативное расстояние видимости Vegetation on the excess right- of-way that reduces the standard visibility distance	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Кустарники и деревья на обочинах, откосах, ограничивающие видимость km 55+000 — km 55+950 Shrubs and trees on road-side and slopes limiting visibility	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no

Код Code	Показатели состояния конструктивных элементов, дефекты содержания дорог Condition indicators of structural elements, road maintenance defects	Участки с выявленными дефектами и их характеристика по состоянию на Sections with identified defects and their characterisation as of						
		01.06.2015	20.10.2015	01.05.2016	06.07.2016	17.08.2016	01.05.2022	20.08.2022
1.7	Трава на обочине и разделительной полосе высотой более 15 см Grass on the road-side and dividing strip more than 15 cm high	<u>км 55+000 — км 55+950</u> Зарастание обочины km 55+000 — km 55+950 Road-side overgrowth	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no
	Трава на откосах высотой более 25 см Grass on slopes more than 25 cm high	<u>км 55+000 — км 55+950</u> Кустарники и деревья на обочинах, откосах, ограничивающие видимость, способствующие накоплению снега и препятствующие водоотводу km 55+000 — km 55+950 Shrubs and trees on road-sides, slopes, limiting visibility, contributing to snow accumulation, and obstructing drainage	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no
1.8	Мусор и посторонние предметы на обочине, откосах земляного полотна и в полосе отвода, не влияющих на безопасность движения Debris and foreign objects on the road-side, slopes of the roadway and on the construction right-of-way that do not affect traffic safety	<u>км 55+000 — км 55+950</u> Наличие отдельных валунов, оставшихся после работ по ремонту дороги km 55+000 — km 55+950 Presence of individual boulders left after road repair works	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no	нет no

Код Code	Показатели состояния конструктивных элементов, дефекты содержания дорог Condition indicators of structural elements, road maintenance defects	Участки с выявленными дефектами и их характеристика по состоянию на Sections with identified defects and their characterisation as of						
		01.06.2015	20.10.2015	01.05.2016	06.07.2016	17.08.2016	01.05.2022	20.08.2022
<b>Проезжая часть (включая используемые съезды)</b> Roadway (including exits in use)								
2.1	Дефекты и повреждения на проезжей части Defects and damage on the roadway	<u>км 55+000 — км 55+950</u> Повреждения покрытия — 100 % km 55+000 — km 55+950 Pavement damage — 100 %	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>км 55+000 — км 55+950</u> Наличие выбоин общей площадью 7 м <sup>2</sup> km 55+000 — km 55+950 Presence of potholes with a total area of 7 m <sup>2</sup>	<u>км 55+000 — км 55+950</u> Наличие выбоин общей площадью 9 м <sup>2</sup> km 55+000 — km 55+950 Presence of potholes with a total area of 9 m <sup>2</sup>
2.2	Необработанные участки выпотевания битума Untreated areas of bitumen flushing	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>км 55+000 — км 55+100</u> Выпотевание битума на опытном участке со стабилизатором битумная эмульсия km 55+000 — km 55+100 Bitumen flushing on the test section with bitumen emulsion stabiliser	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>



Код Code	Показатели состояния конструктивных элементов, дефекты содержания дорог Condition indicators of structural elements, road maintenance defects	Участки с выявленными дефектами и их характеристика по состоянию на Sections with identified defects and their characterisation as of						
		01.06.2015	20.10.2015	01.05.2016	06.07.2016	17.08.2016	01.05.2022	20.08.2022
2.3	Нарушение профиля проезжей части, гребенка на проезжей части Roadway profile disturbance, a ridge on roadway	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Гребенка наряду с выбоинами km 55+000 — km 55+950 Ridge along with potholes	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Гребенка 30 % от площади опытного участка km 55+000 — km 55+950 Ridge 30 % of the test section area	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Гребенка 2 % от площади опытного участка km 55+000 — km 55+950 Ridge 2 % of the test section area	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Гребенка 5 % от площади опытного участка km 55+000 — km 55+950 Crest 5 % of the test section area	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Гребенка 7 % от площади опытного участка km 55+000 — km 55+950 Crest 7 % of the test section area
2.4	Раскрытые необработанные трещины на покрытии Uncovered untreated cracks in the pavement	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>
2.5	Разрушенные и не заполненные мастикой деформационные швы на в цементобетонном покрытии Expansion joints in cement concrete pavements are broken and not filled with mastic	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>
2.6	Полосы загрязнения у кромки покрытия Contamination streaks at the pavement edge	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>
2.7	Посторонние предметы на проезжей части, влияющие на безопасность движения Foreign objects on the roadway affecting traffic safety	<u>км 55+000 —</u> <u>км 55+950</u> Наличие отдельных валунов, оставшихся после работ по ремонту дороги km 55+000 — km 55+950 Presence of individual boulders left after road repair works	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>	<u>нет</u> <u>по</u>

Составлено авторами / Compiled by the authors

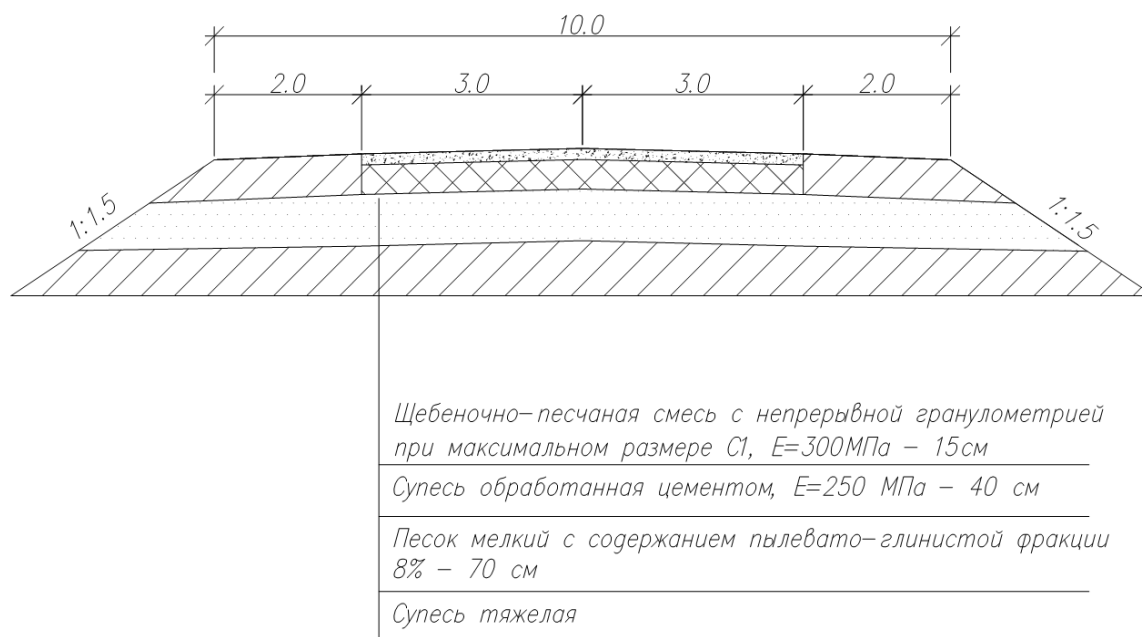
По результатам мониторинга наблюдается увеличение процента гребенки на опытном участке, увеличение площади выбоин. Причинами таких дефектов является наличие большого потока большегрузного движения, а также отсутствие слоя покрытия дорожной одежды, так как цементогрунт не рекомендуется применять в качестве слоя покрытия.

Реализация мероприятий по усилению дорожного полотна с применением золошлаковых материалов позволила успешно эксплуатировать дорогу на протяжении 7 лет без проведения ремонта (рис. 5).



**Рисунок 5.** Экспериментальный участок автодороги по состоянию на август 2022 г. (фото авторов)

**Figure 5.** Experimental road section as of August 2022 (photo by authors)

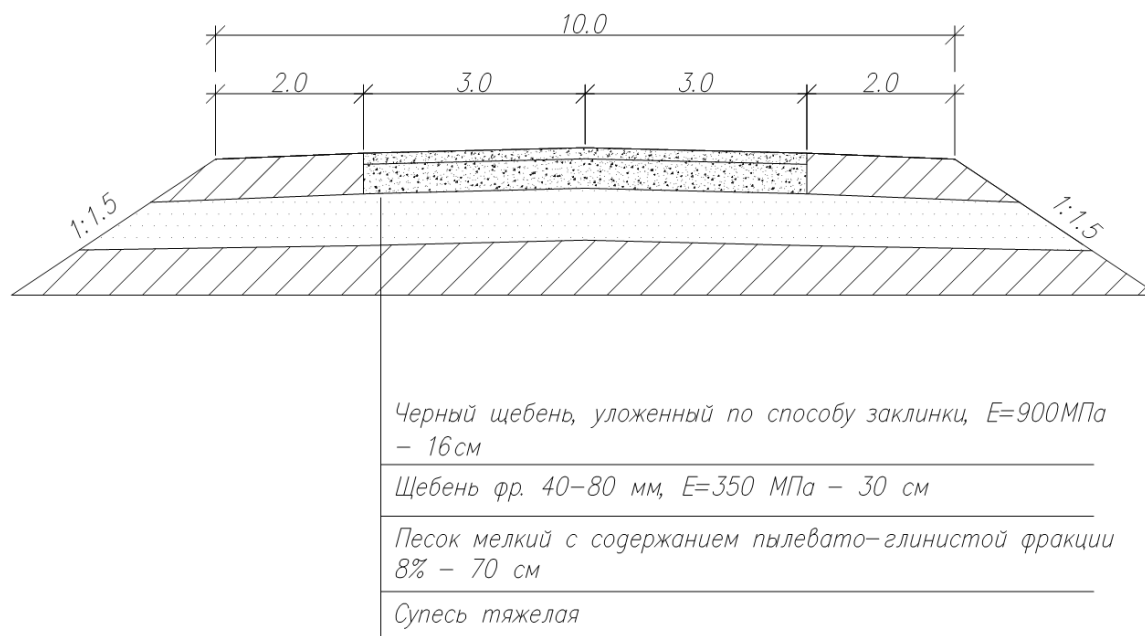


**Рисунок 6.** Конструкция дорожной одежды с использованием грунтов, укрепленных цементом (материалы авторов)

**Figure 6.** Road pavement design using cement reinforced soils (materials by authors)

Успешный опыт применения ЗШС для решения задач укрепления дорожной одежды дорог низших категорий показал необходимость технико-экономического обоснования принятых решений.

На основании расчета по ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» для типовых условий, аналогичным условиям опытного участка, выбраны оптимальные конструкции дорожной одежды с использованием грунтов, укрепленных цементом, и черного щебня (рис. 6, 7).



**Рисунок 7.** Конструкция дорожной одежды с использованием черного щебня (материалы авторов)

**Figure 7.** Road pavement design using black crushed stone (materials by authors)

Сравнительная стоимость вариантов при дальности возки грунта 10 км и цемента, ЗШС, золы и добавок — 100 км равна: 82 тыс. руб., 79 тыс. руб., 166 тыс. руб. соответственно в базовых ценах федеральных единичных расценок (ФЕР) 2001 года. Таким образом, применение в качестве стабилизатора битумной эмульсии в два раза дороже по сравнению с аналогами, а устройство дорожной одежды осложняется трудностью перемешивания, а после устройства наблюдается выпотевание битума. Поэтому применение стабилизатора битумная эмульсия не целесообразно.

Аналогом, сопоставимым по цене, является конструкция дорожной одежды с применением черного щебня, сметная стоимость которого, при дальности возки щебня и черного щебня 100 км, равна 83 тыс. руб. в базовых ценах ФЕР 2001 года.

Расчет сметной стоимости 100 м дорожной одежды в зависимости от дальности возки черного щебня, цемента, ЗШС, золы, добавок при дальности возки грунта 10, 8, 6, 4 км приведен в таблице 2.

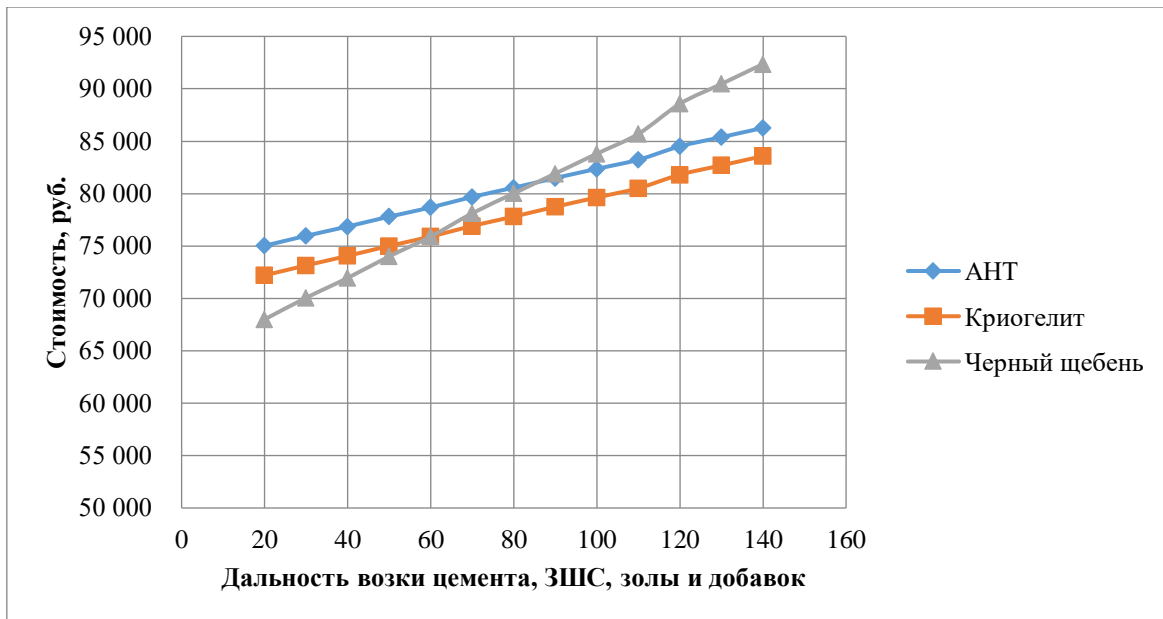
На графиках (рис. 8, 9) показана зависимость стоимости 100 м дорожной одежды (600 м<sup>2</sup>) в зависимости от дальности возки черного щебня, цемента, ЗШС, золы, добавок при различном расстоянии до грунтового карьера.

Таблица 2 / Table 2

Расчет стоимости 100 м дорожной одежды шириной 6 м  
Calculation of the cost of 100 m of 6 m wide pavement

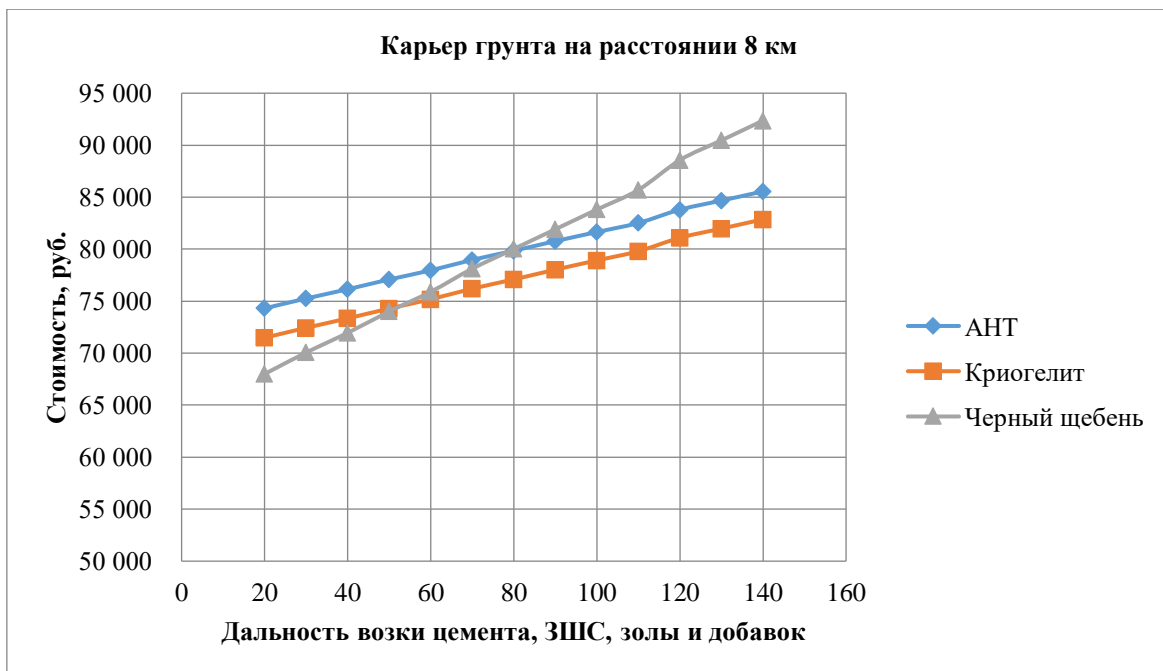
Расстояние до карьера с грунтом Distance to a soil bank	Карьер 10 км 10 km soil bank			Карьер 8 км 8 km soil bank			Карьер 6 км 6 km soil bank			Карьер 4 км 4 km soil bank		
	АНТ ANT	Криогелит Cryogelite	Черный щебень Black crushed stone	АНТ ANT	Криогелит Cryogelite	Черный щебень Black crushed stone	АНТ ANT	Криогелит Cryogelite	Черный щебень Black crushed stone	АНТ ANT	Криогелит Cryogelite	Черный щебень Black crushed stone
20	75 027	72 198	68 002	74 313	71 484	68 002	73 612	70 783	68 002	72 906	70 077	68 002
30	75 971	73 153	70 062	75 257	72 439	70 062	74 556	71 738	70 062	73 850	71 032	70 062
40	76 862	74 059	71 957	76 148	73 345	71 957	75 447	72 644	71 957	74 741	71 938	71 957
50	77 804	75 012	74 012	77 090	74 298	74 012	76 389	73 597	74 012	75 683	72 891	74 012
60	78 680	75 899	75 908	77 966	75 185	75 908	77 265	74 484	75 908	76 559	73 778	75 908
70	79 689	76 920	78 127	78 975	76 206	78 127	78 274	75 505	78 127	77 568	74 799	78 127
80	80 565	77 807	80 023	79 851	77 093	80 023	79 150	76 392	80 023	78 444	75 686	80 023
90	81 488	78 748	81 918	80 774	78 034	81 918	80 073	77 333	81 918	79 367	76 627	81 918
100	82 364	79 635	83 814	81 650	78 921	83 814	80 949	78 220	83 814	80 243	77 514	83 814
110	83 238	80 521	85 705	82 524	79 807	85 705	81 823	79 106	85 705	81 117	78 400	85 705
120	84 515	81 809	88 572	83 801	81 095	88 572	83 100	80 394	88 572	82 394	79 688	88 572
130	85 390	82 696	90 467	84 676	81 982	90 467	83 975	81 281	90 467	83 269	80 575	90 467
140	86 266	83 583	92 363	85 552	82 869	92 363	84 851	82 168	92 363	84 145	81 462	92 363

Составлено авторами / Compiled by the authors



**Рисунок 8.** Зависимость стоимости устройства дорожной одежды от способа и дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок при расстоянии до грунтового карьера 10 км (составлено авторами)

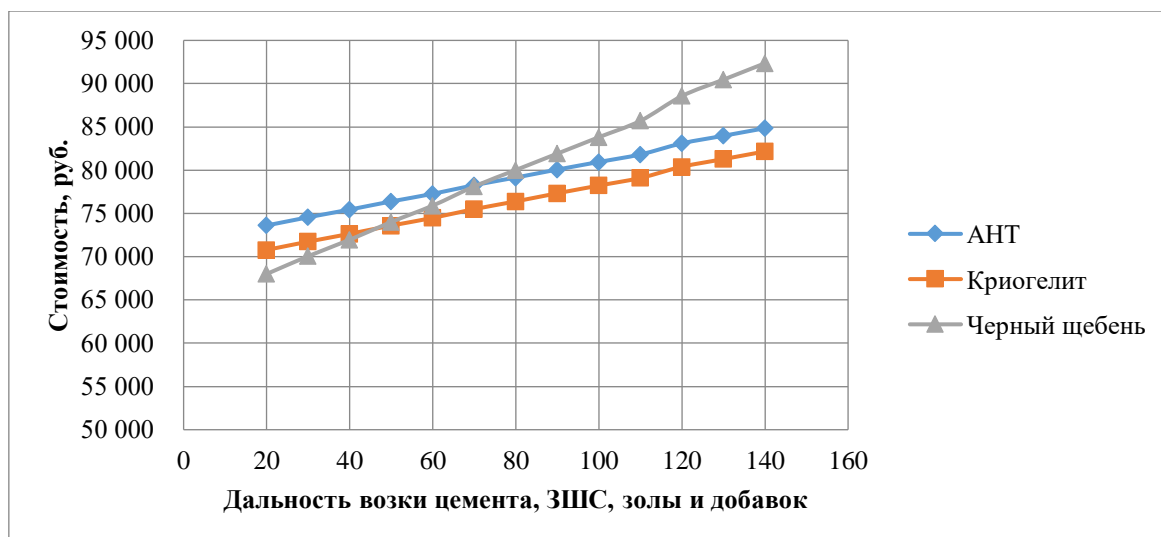
**Figure 8.** Dependence of the road pavement construction cost on the method and distance of cement, bottom-ash, ash and additives transportation at a distance of 10 km to a soil bank (compiled by the authors)



**Рисунок 9.** Зависимость стоимости устройства дорожной одежды от способа и дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок при расстоянии до грунтового карьера 8 км (составлено авторами)

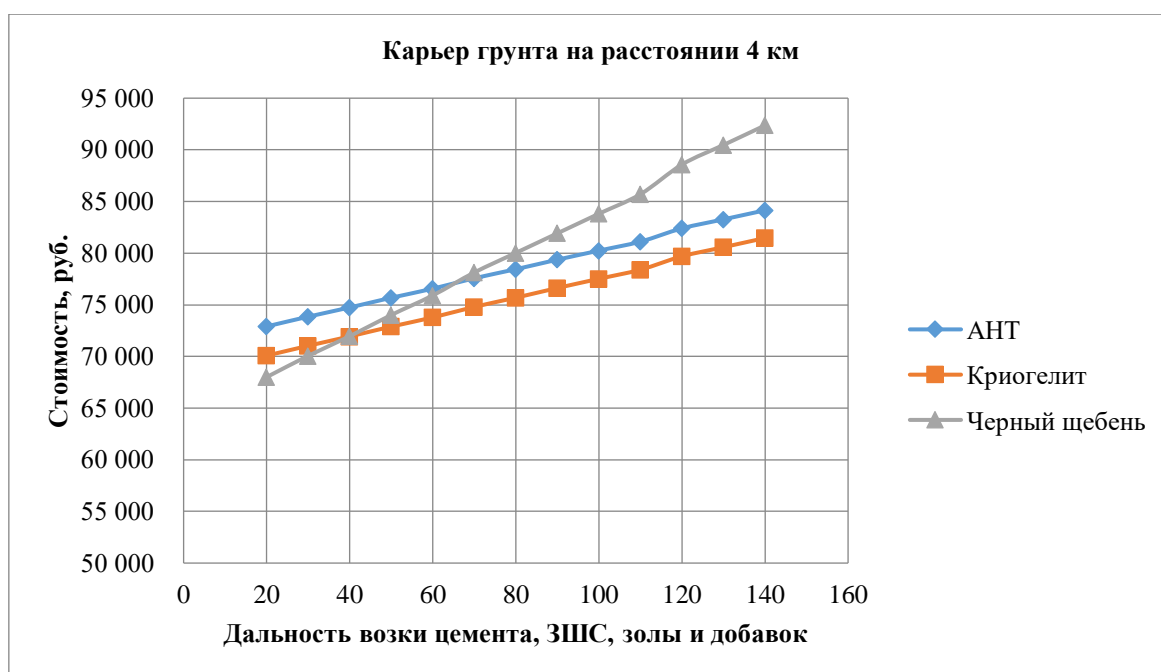
**Figure 9.** Dependence of the road pavement construction cost on the method and distance of cement, bottom-ash, ash and additives transportation at a distance to a soil bank of 8 km (compiled by the authors)





**Рисунок 10.** Зависимость стоимости устройства дорожной одежды от способа и дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок при расстоянии до грунтового карьера 6 км (составлено авторами)

**Figure 10.** Dependence of the road pavement construction cost on the method and distance of cement, bottom-ash, ash and additives transportation at a distance to a soil bank of 6 km (compiled by the authors)



**Рисунок 11.** Зависимость стоимости устройства дорожной одежды от способа и дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок при расстоянии до грунтового карьера 4 км (составлено авторами)

**Figure 11.** Dependence of the road pavement construction cost on the method and distance of cement, bottom-ash, ash and additives transportation at the distance to the soil bank of 4 km (compiled by the authors)

## Выводы и обсуждение

### Conclusions and discussion

Проведенный мониторинг и оценка состояния автомобильной дороги IV категории, укрепленной составами с применением золошлаковых отходов, показывает эффективность подобранных составов.

В результате исследования прочности автомобильной дороги Н. Кука — Могзон-Хилок км 55+000 — км 55+950 в Забайкальском крае получены следующие величины модуля упругости (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

### Величины модуля упругости

#### Values of elasticity modulus

Характеристика дорожной одежды экспериментального участка Characteristics of experimental section road pavement	$E_f$ , МПа (среднее значение фактического модуля упругости) EF, MPa (average value of actual modulus of elasticity)	$E_f$ , МПа (минимальный фактический модуль упругости для величины надежности 82 %) EF, MPa (minimum actual modulus of elasticity for a reliability value of 82 %)
Участок № 1 / Section No. 1 Дорожная одежда из цементогрунта со стабилизатором Криогелит на участке земляного полотна с цементогрунтовым экраном Cement-soil road pavement with Cryogelite stabiliser on the roadway section with cement-soil screen	136	107
Участок № 1 / Section No. 2 Дорожная одежда из цементогрунта с ускорителем твердения Cement-soil road pavement with hardening agent	139	130
Участок № 1 / Section No. 3 Дорожная одежда из цементогрунта со стабилизатором «АНТ» Cement-soil road pavement with ANT stabiliser	169	153

Составлено авторами / Compiled by the authors

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.

Цементо-грунтовая 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.

Сравнение вариантов устройства дорожной одежды с применением черного щебня, грунтов укрепленных цементом с использованием стабилизаторов АНТ или Криогелит при различной дальности возки черного щебня, цемента, ЗШС, золы, добавок и различной дальности возки грунта показало, что:

- При расстоянии до грунтового карьера 10 км, применение стабилизатора Криогелит становится экономически выгодным при дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок более 55 км, а стабилизатора АНТ более 80 км.
- При расстоянии до грунтового карьера 8 км, применение стабилизатора Криогелит становится экономически выгодным при дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок более 55 км, а стабилизатора АНТ более 90 км.
- При расстоянии до грунтового карьера 6 км, применение стабилизатора Криогелит становится экономически выгодным при дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок более 50 км, а стабилизатора АНТ более 72 км.
- При расстоянии до грунтового карьера 4 км, применение стабилизатора Криогелит становится экономически выгодным при дальности возки цемента, ЗШС, золы и добавок более 40 км, а стабилизатора АНТ более 67 км.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Балабанов, В.Б.** Применение зольных отходов в дорожном строительстве / В.Б. Балабанов, В.Л. Николаенко // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2011. — № 6. — С. 37–41. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16519747>. — EDN NXNAYV. (дата обращения: 11.03.2023).
2. **Бирюков, В.В.** Эффективные направления крупномасштабного использования золошлаковых отходов / В.В. Бирюков, С.Е. Метелев, В.В. Сиротюк, В.Р. Шевцов // Сибирский торгово-экономический журнал. — 2008. — № 7. — С. 66–70. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15561429>. — EDN NCNUQZ. (дата обращения: 11.03.2023).
3. **Гужелев, Э.П.** Рациональное применение золы ТЭЦ: Результаты научно-практических исследований / Э.П. Гужелев, Ю.Т. Усманский. — Омск: Омский гос. ун-т, 1998. — 238 с.
4. **Aineto, M.** Thermal expansion of slag and fly ash from coal gasification in IGCC power plant / M. Aineto, A. Acosta, J.Ma. Rincon, M. Romero. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.05.015> // Fuel. — 2006. — Т 85. — № 16. — С. 2352–2358. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236106001931>. (дата обращения: 11.03.2023).
5. **Ватин, Н.И.** Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н.И. Ватин, Д.В. Петросов, А.И. Калачев, П. Лахтинен // Инженерно-строительный журнал. — 2011. — № 4. — С. 16–21. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16448498>. — EDN NVYMZJ. (дата обращения: 11.03.2023).
6. **Lahtinen, P.** New methods for the renovation of gravel roads / P. Lahtinen, H. Jyrävä, H. Suni. // Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads, Lahti 24–26. May 1999. — С. 7.

7. **Пичугин, Е.А.** Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций / Е.А. Пичугин. — DOI <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-14077> // Проблемы региональной экологии. — 2019. — № 4. — С. 77–87. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41237489>. — EDN MNEM SX. (дата обращения: 11.03.2023).
8. **Афанасьева, О.В.** Комплексное использование золошлаковых отходов / О.В. Афанасьева, Г.Р. Мингалеева, А.Д. Добронравов, Э.В. Шамсутдинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2015. — № 7-8. — С. 26–36. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24864074>. — EDN UYCPTJ. (дата обращения: 11.03.2023).
9. **Хлопицкий, А.А.** Перспективы утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций / А.А. Хлопицкий, Н.П. Макаренченко // Universum: технические науки. — 2013. — № 1. — С. 7. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20928476>. — EDN RPZKVV. (дата обращения: 11.03.2023).
10. **Герасимова, Н.П.** Зола уноса как сырье для производства бетонных блоков при решении экологической проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ / Н.П. Герасимова. — DOI <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-6-122-127> // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2016. — № 6. — С. 122–127. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26223744>. — EDN WBWFFJ. (дата обращения: 21.05.2023).
11. **Соловьев, Л.П.** Утилизация зольных отходов тепловых электростанций / Л.П. Соловьев, В.А. Пронин // Современные наукоемкие технологии. — 2011. — № 3. — С. 40–42. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16372910>. — EDN NUHMVB. (дата обращения: 21.05.2023).
12. **Слесаренко, В.В.** Технологические аспекты утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций / В.В. Слесаренко, А.В. Таскин // Евразийское Научное Объединение. — 2015. — Т 1. — № 2. — С. 60–62. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23326249>. — EDN TQLQWF. (дата обращения: 21.05.2023).
13. **Хамраева, Р.Б.** Перспективы переработки золошлаковых отходов / Р.Б. Хамраева, А.А. Герасимова, М.В. Сафронов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. — 2018. — Т 2. — № 4. — С. 759–761. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36804989>. — EDN YUIJZZ. (дата обращения: 21.05.2023).
14. **Енджиевская, И.Г.** Влияние механоактивации на стабилизацию свойств золы уноса Красноярских ТЭЦ / И.Г. Енджиевская, Н.Г. Васильевская, О.Г. Дубровская [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.17516/1999-494X-0099> // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. — 2018. — Т 11. — № 7. — С. 842–855. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36528930>. — EDN SLQBHV. (дата обращения: 21.05.2023).
15. **Кочеткова, Р.Г.** Современные методы улучшения свойств глинистых грунтов вяжущими и добавками / Р.Г. Кочеткова. — Москва Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2014. — 132 с. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21663458>. — EDN: SGBPJF. (дата обращения: 21.05.2023).

---

**Сведения об авторах:**

**Сигачев Николай Петрович** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительства», ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, Россия, e-mail: [snp.zab@mail.ru](mailto:snp.zab@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9630-5563>

**Свалова Кристина Витальевна** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительства», ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, Россия, e-mail: [kristi24091990s@yandex.ru](mailto:kristi24091990s@yandex.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3644-5242>

**Кривченко Ольга Вадимовна** — ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, Россия, e-mail: [olyakrikrivchenko@yandex.ru](mailto:olyakrikrivchenko@yandex.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2151-1422>

---

Статья получена: 01.08.2023. Принята к публикации: 16.10.2023. Опубликована онлайн: 30.10.2023.

*Государственный контракт «Применение зол-уноса и золошлаковых смесей Забайкальских энергетических станций при выполнении дорожных работ на автомобильных дорогах Забайкальского края»*

## REFERENCES

1. Balabanov V., Nikolaenko V. Application of Ash Waste in Road Construction. *Vestnik of Irkutsk State Technical University*. 2011; (6): 37–41. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16519747> (accessed 11th March 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
2. Biryukov V.V., Metelev S.E., Sirotiyuk V.V., Shevtsov V.R. [Effective directions for large-scale use of ash and slag waste]. [*Siberian Trade and Economic Journal*]. 2008; (7): 66–70. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15561429> (accessed 11th March 2023). (In Russ.).
3. Guzhelev E.P., Usmanskiy Yu.T. Ratsional'noye primeneniye zoly TETs: Rezul'taty nauchno-prakticheskikh issledovaniy [Rational use of thermal power plant ash: Results of scientific and practical research]. Omsk: Omsk State University; 1998. (In Russ.).
4. 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. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.05.015>.
5. 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. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16448498> (accessed 11th March 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Lahtinen P., Jyrävä H., Suni H. New methods for the renovation of gravel roads. In: Paper for IRF Regional Conference, European Transport and Roads, Lahti 24–26. May 1999. p.7.
7. Pichugin E.A. Analytical Review of The Experience of Involving Ash Slag Waste of Thermal Power Plants in Economic Circulation in The Russian Federation. *Regional Environmental Issues*. 2019; (4): 77–87. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-14077>.
8. Afanaseva O.V., Mingaleeva G.R., Dobronravov A.D., Shamsutdinov E.V. [Integrated use of ash and slag waste]. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2015; (7-8): 26–36. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24864074> (accessed 11th March 2023). (In Russ.).
9. Hlopitskiy A., Makarchenko N. Prospects of Utilizing Ashes and Slag Waste of Thermal Power Plants. *Universum: technical sciences*. 2013; (1): 7. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20928476> (accessed 11th March 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
10. Gerasimova N. Fly Ash as A Raw Material for Precast Concrete Block Production When Solving the Environmental Problem of Chp Ash and Slag Waste Disposal. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2016; (6): 122–127. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-6-122-127>.
11. Solovjev L.P., Pronin V.A. Increase of Ecological Safety of Thermal Power Stations by Recycling of The Cindery Waste. *Modern high technologies*. 2011; (3): 40–42. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16372910> (accessed 21st May 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
12. Slesarenko V.V., Taskin A.V. [Technological aspects of recycling ash and slag waste from thermal power plants]. *Eurasian Scientific Association*. 2015; 1(2): 60–62. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23326249> (accessed 21st May 2023). (In Russ.).
13. Khamraeva R.B., Gerasimova A.A., Safronov M.V. Prospects of Processing of Ash and Slag Wastes. *Current problems of aviation and astronautics*. 2018; 2(4): 759–761. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36804989> (accessed 21st May 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
14. Endzhievskaya I.G., Vasilovskaya N.G., Dubrovskaya O.G., Baranova G.P., Chudaeva A.A. The effect of mechanical activation on the stabilization of ash properties of Krasnoyarsk CHP. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2018; 11(7): 842–855. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.17516/1999-494X-0099>.
15. Kochetkova R.G. [Modern methods of improving the properties of clay soils using binders and additives]. Moscow: Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI); 2014. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21663458> (accessed 21st May 2023). (In Russ.).



**Information about the authors:**

**Nikolai P. Sigachev** — Zabaikalsky State University, Chita, Russia, e-mail: [snp.zab@mail.ru](mailto:snp.zab@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9630-5563>

**Kristina V. Svalova** — Zabaikalsky State University, Chita, Russia, e-mail: [kristi24091990s@yandex.ru](mailto:kristi24091990s@yandex.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3644-5242>

**Olga V. Krivchenko** — Zabaikalsky State University, Chita, Russia, e-mail: [olyakrikrivchenko@yandex.ru](mailto:olyakrikrivchenko@yandex.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2151-1422>

---

Submitted: 1st August 2023. Revised: 16th October 2023. Published online: 30th October 2023.

*The work was carried out within the scope of the State Contract «Application of fly ash and bottom-ash mixtures of Transbaical power plants in road works on motorways of Transbaical region»*