**Экономические, экологические и технические особенности проектирования автомобильных дорог в условиях линзовых (островных) мерзлот****Сергей Викторович Захаров¹, Валерий Петрович Лушпей²,
Алина Витальевна Ибрагимова³, Янь Вэйна⁴, Цзан Нань⁵**^{1,3,4,5}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия²Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, о. Русский, г. Владивосток, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Захаров Сергей Викторович, ynd@istu.edu

Аннотация. В статье рассматриваются особенности проектирования автомобильных дорог в условиях линзовых мерзлот. В ходе работы использовались экономико-математические расчеты, учитывался практический опыт возведения автомобильных дорог компаниями «Свайбур» и «Гидростройинжиниринг», длительное время занимающихся строительством и текущим ремонтом дорог. При выполнении экономико-математических расчетов цены на строительные материалы определялись исходя из укрупненных сметных нормативов для объектов капитального строительства непроизводственного назначения «Укрупненные нормативы цены строительства. НЦС 81-02-08-2017. Сборник № 08. Автомобильные дороги». Экологические требования основывались на методических рекомендациях, разработанных Федеральным агентством «Росавтодор». Затраты на содержание и реконструкцию обрушенного участка дороги в несколько раз могут превышать стоимость сметного строительства этого участка в комплексе, а также затруднять логистику и транспортную доступность сельскохозяйственных угодий. В некоторых случаях может быть нарушено экологическое равновесие прилегающих земель, поскольку при размывании автодороги в почву попадают вредные вещества, которые в обычных условиях удерживаются верхним и нижним строением дорог. Рассматриваются экономические и экологические проблемы проектирования автомобильных дорог, связывающих важные логистические центры в условиях линзовой и вечной мерзлоты. Представлены расчет удорожания строительства при укреплении дорог винтовыми сваями при размывании отдельных участков автодорог во время весенних паводков или сильных осадков, а также сравнительная характеристика вариантов удорожания строительства автодорог в условиях линзовой (островной) и вечной мерзлоты.

Ключевые слова: линзовая мерзлота, дороги, асфальтирование, винтовые сваи, дорожное строительство, вечная мерзлота, слабый грунт

Для цитирования: Захаров С. В., Лушпей В. П., Ибрагимова А. В., Янь Вэйна, Цзан Нань. Экономические, экологические и технические особенности проектирования автомобильных дорог в условиях линзовых (островных) мерзлот // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 560–569. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-560-569>.

Original article**Economic, environmental and technical design characteristics of highways under permafrost (insular) conditions****Sergey V. Zakharov¹, Valery P. Lushpey²,
Alina V. Ibragimova³, Yan Weina⁴, Zang Nan⁵**^{1,3,4,5}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia²Far Eastern Federal University, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, RussiaCorresponding author: Sergey V. Zakharov, ynd@istu.edu

Abstract. This paper addresses the characteristics of road design under permafrost conditions. Economic and mathematical calculations were used along with practical experience of “Svaybur” and

"Gidrostoiengineering" companies, involved in road construction and maintenance for a long period. The prices for construction materials for economic and mathematical calculations were determined using the Integrated Construction Price Standards for Capital Construction Projects for Non-Production Uses. ICP 81-02-08-2017. Collection No. 08: Roads. The environmental requirements were based on the recommended practices developed by the Federal Agency "Rosavtodor". The cost of maintaining and reconstructing a damaged section of road can exceed by several times the estimated construction cost of the whole section, as well as hinder the logistics and transport accessibility of the agricultural land. In some cases, the environment of the surrounding land may be adversely affected, since harmful contaminants that under normal conditions are bound by the top and bottom structures of the road are released into the soil due to its erosion. The paper examines the economic and environmental problems of designing roads connecting important logistics centres under insular permafrost and permafrost conditions. Here, the calculation of construction costs for road reinforced using screw piles if necessary to prevent the erosion of some road sections during spring floods or heavy precipitation is presented, along with a comparative analysis of construction costs for roads under insular permafrost and permafrost conditions.

Keywords: lens permafrost, roads, asphaltting, screw piles, road construction, permafrost, weak soil

For citation: Zakharov S. V., Lushpey V. P., Ibragimova A. V., Yan Weina, Zang Nan. Economic, environmental and technical design characteristics of highways under permafrost (insular) conditions. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):560-569. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-560-569>.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортная доступность удаленных объектов на различных территориях является сложным, неординарным и дорогостоящим социально-экономическим достижением. Даже в самых, с первого взгляда, несложных условиях рельефа автомобильная дорога должна отвечать множеству требований и характеристик: быть надежной и долговечной в эксплуатации, устойчивой к метеоусловиям, также доступной для обслуживания в любой сезон. Автомобильная дорога должна состоять из функционально связанных между собой конструктивных элементов и сооружений, специально спроектированных на длительный период времени для обеспечения безопасного движения транспортных средств с разрешенными скоростями, нагрузками и размерами. При этом дорога должна быть оснащена привлекающими участками для строительства инфраструктуры.

Разные исследователи в своих работах использовали различные подходы для решения задач строительства автодорог в трудных условиях [1]. Эти исследования, в основном, касаются использования современных морозостойких материалов для строительства [2, 3], высокопрочных морозостойких бетонов с определенными «присадками» [4], полимерно-битумных вяжущих и горячей регенерации дорожных одежд [5, 6]. Некоторые вопросы деформации дорожных покрытий и загрязнения грунтов и водных пространств [7]

рассмотрены в работах авторов, непосредственно занимающихся вопросами экологии [8, 9]. Кроме того, важно не забывать, что при внедрении новых технологий в строительстве автодорог предприятия становятся на принципиально новый для себя путь развития [10, 11], соответственно, необходимо учитывать и особенности внедрения и реализации инновационных продуктов [12, 13].

На большей части территории РФ существуют зоны вечной мерзлоты и так называемые островные или линзовые мерзлоты (рис. 1). Островные или линзовые мерзлоты наблюдаются на территориях Иркутской области, в республиках Бурятия и Тыва, в Хабаровском, Камчатском, Красноярском краях и др.

Островная мерзлота отличается тем, что грунт имеет преимущественно плюсовую температуру, тем не менее в нем имеются отдельные области, так называемые «линзы», состоящие из мерзлых фракций. Размеры таких островов-линз в плане могут составлять сотни метров, а их толщина – от нескольких до сотен метров [14] (рис. 2).

МЕТОДЫ

В процессе исследования были использованы методы экономического анализа и синтеза, а также математического моделирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При строительстве автодорог в зонах линзовой (островной) мерзлоты возникает ряд

трудностей, которые, не будучи учтенными, могут привести с высокой вероятностью к нарушениям целостности и пространственной геометрии отдельных участков пути, и, следовательно, к авариям на дорогах.

Поэтому, строительная компания должна

выбрать, какой тип строительства будет использоваться на том или ином участке дороги. С точки зрения затрат, для более экономного варианта подходит традиционный вид строительства, так как покрытие на свайном основании отличается более высокими затратами.



Рис. 1. Вечная мерзлота в России (65% от общей площади территории страны)

Fig. 1. Permafrost in Russia (65% of the total area of the country)



Рис. 2. Участок линзовой мерзлоты (фото взято из свободного доступа сети Интернет)

Fig. 2. Area of lens permafrost (photo taken from free Internet access)

Однако следует учесть, что отдельные участки дорог, пролегающие по территории линзовой мерзлоты, как правило, подвержены деформациям ввиду периодического оттаивания самой линзы. Зачастую деформация дороги достигает такой степени, что не представляется возможным проезд на автомобильном транспорте.

Именно поэтому для обустройства отдельных участков дорог, соединяющих логистические центры снабжения города с удаленными территориями, предлагается использовать строительство дорог с использованием различных технико-экономических решений,

среди которых могут быть: укрепление автодороги свайным фундаментом, использование специализированных утепляющих дорожных одежд либо строительство дороги «в обход» вечномёрзлой линзы. Все же нецелесообразно использовать эти решения по всей длине автодороги, поскольку это приведет к значительному удорожанию строительства. Так, например, сваи необходимо устанавливаются только на участках с рыхлым (слабым), периодически оттаивающим грунтом как меру для укрепления части дороги. В табл. 1 представлены приблизительные цены на винтовые сваи.

Таблица 1. Цена на винтовые сваи СВСН (за 1 ед.)

Table 2. Price for screw piles SVSN (for 1 unit)

Наименование	Длина, м	Цена сваи, руб.	Цена ручного монтажа, руб.	Свая+ оголовок+ монтаж, руб.	Стоимость с учетом индексации (15%), руб.
СВСН-57/200/1500	1,5	1 090	730	2 050	2357,5
СВСН-57/200/2000	2,0 м	1 280 руб.	770 руб.	2 280	2622 руб.
СВСН-57/200/2500	2,5 м	1 480 руб.	910 руб.	2 620 руб.	3013 руб.
СВСН-57/200/3000	3,0 м	1 660 руб.	900 руб.	2 790 руб.	3208,5 руб.
СВСН-57/200/3500	3,5 м	1 850 руб.	890 руб.	2 970 руб.	3415,5 руб.
СВСН-57/200/4000	4,0 м	2 050 руб.	930 руб.	3 210 руб.	3691,5 руб.
СВСН-57/200/4500	4,5 м	2 310 руб.	970 руб.	3 510 руб.	4036,5 руб.
СВСН-57/200/5000	5,0 м	2 450 руб.	1 060 руб.	3 740 руб.	4301 руб.
СВСН-57/200/5500	5,5 м	2 710 руб.	1 260 руб.	4 200 руб.	4830 руб.
СВСН-57/200/6000	6,0 м	2 950 руб.	1 350 руб.	4 530 руб.	5209,5 руб.

На сайте Гидрострой Инженеринг¹ представлено описание процесса установки свай. В некоторых случаях сваи могут устанавливаться в 3–6 рядов в зависимости от состояния почвы.

В методических рекомендациях² по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог предусмотрен ряд определенных требований к экологизации строительства дорог:

- рекультивация нарушенных земель;
- защита полосы отвода автомобильных дорог от зарастания деревьями, кустарниками и сорными растениями;
- ликвидация последствий загрязнения и захламления земель;
- охрана атмосферного воздуха, водных ресурсов и др.

Традиционное асфальтирование при использовании от 1 до 6 слоев в зависимости от типа может иметь следующие виды:

1. Простое асфальтирование (слой мелкозернистого асфальта – 5 см).

2. Асфальтирование в 2 слоя (слой крупнозернистого асфальта – 7 см, слой мелкозернистого асфальта – 5 см).

3. Бюджетная конструкция (слой песка – 20 см, слой щебня – 15 см, слой мелкозернистого асфальта – 5 см).

4. Легковой стандарт (слой песка – 30 см, слой щебня – 20 см, слой мелкозернистого асфальта – 7 см).

5. Грузовой стандарт (слой песка – 40 см, слой щебня – 25 см, слой тощего бетона – 10 см, слой крупнозернистого асфальта – 7 см, слой мелкозернистого асфальта – 5 см).

6. Европейский стандарт (слой щебня – 5 см, слой армированного бетона – 15 см, слой крупнозернистого асфальта – 7 см, слой мелкозернистого асфальта – 6 см, слой щебеночно-мастичного асфальта – 5 см).

Для строительства дорог вне населенных

¹Свайная система насыпи [Электронный ресурс] // Гидрострой Инжиниринг. URL: <https://gse39.ru/technologies/svaynaya-sistema-nasypi/> (02.08.2022).

²Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101040> (02.08.2022).

пунктов, на территориях, прилегающих к землям сельскохозяйственного назначения, используются, как правило, грузовой и европейский стандарты.

Иркутская область относится к дорожно-климатической зоне I категории. В табл. 2 и 3 представлены цены на строительство участка дороги длиной 1 км с учетом условий данной категории.

Согласно укрупненным сметным нормативам³ для объектов капитального строительства непромышленного назначения в табл. 2 и 3 представлены цены на строительство 1 км автомагистрали. Предположим, что необ-

ходимо построить 4-полосную автомагистраль длиной 1 км с учетом наличия винтовых свай (длиной 6 м) на протяжении всего участка.

Минимальное количество рядов винтовых свай по ширине дороге – 3 ед., устанавливающиеся каждые 2 м на протяжении 1 км. Из этого следует, что стоимость строительства 1 км = $1000 \text{ м} / 2 \text{ м} * 3 \text{ ряда} * 4 \text{ 530 руб/ед} + 124 \text{ 303 810} = 131 \text{ 098 810 руб.}$ С учетом текущего удорожания стоимости и установки свай (на 15%) стоимость строительства 1 км = $1000 \text{ м} / 2 \text{ м} * 3 \text{ ряда} * 5 \text{ 209,5 руб/ед} + 124 \text{ 303 810} = 132 \text{ 118 060 руб.}$

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 2. Автомагистраль, категория IA, дорожная одежда капитального типа с асфальтобетонным покрытием (измеритель: 1 км)

Table 2. Motorway, category IA, permanent pavement with asphalt concrete pavement (meter: 1 km)

Код	Количество полос	Стоимость
08-01-001-01	4 полосная	124303,81
08-01-001-02	6 полосная	152920,65
08-01-001-03	8 полосная	181584,47

Таблица 3. Автомагистраль, категория IA, дорожная одежда капитального типа с цементобетонным покрытием

Table 3. Highway, category IA, capital type pavement with cement concrete pavement

Код	Количество полос	Стоимость
08-01-001-01	4 полосная	113051,86
08-01-001-02	6 полосная	136923,05
08-01-001-03	8 полосная	160792,24

Таблица 4. Результаты расчета стоимости вариантов строительства автодорог (традиционный и на сваях)

Table 4. The results of the calculation of the cost of road construction options (traditional and on piles)

Вариант	Стоимость строительства 1 км участка дороги, руб.
1. Автомобильная дорога (4 полосы) IA категория (Иркутская область)	124 303 810
2. Автомобильная дорога (4 полосы) IA категория (Иркутская область) на винтовых сваях	132 118 060

Термоизолирующие прослойки из пеноплекса в конструкции дорожной одежды используются:

- как альтернатива устройству традиционных морозозащитных слоев для снижения деформаций пучения при промерзании конструкции, в которой в пределах глубины промерзания имеются пучинистые грунты;
- как альтернатива устройству повышен-

ных насыпей или устройству термоизоляции из торфа в зоне вечной мерзлоты, обеспечивающих реализацию I-го принципа проектирования – сохранения вечномерзлого грунта в основании (или теле) насыпи с исключением просадок полотна при оттаивании его основания (или ее мерзлой части)⁴.

Первое направление использования термоизолирующей прослойки может быть

³Асфальтирование дорог от 200 м² // Асфальт-трейд [Электронный ресурс]. URL: <https://asfalt.trade/nashi-uslugi/asfaltirovanie/asfaltirovanie-dorog/> (02.08.2022);

НЦС 81-02-08-2017 Укрупненные нормативы цены строительства. Сборник № 08. Автомобильные дороги. Техническая часть // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456079978> (02.08.2022)

⁴Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс» // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200040072> (02.08.2022).

реализовано на дорогах общей сети и ведомственных дорогах в любой дорожно-климатической зоне при наличии сезонного промерзания-оттаивания грунтов с повышенной пучинистостью.

Второе направление может быть реализовано на дорогах общей сети и ведомственных дорогах только в зоне вечной мерзлоты или в случае специальных проектных решений, рассчитанных на особые условия строительства и эксплуатации дороги (временные дороги, спецдороги и т.п.).

Эффект от применения теплоизолирующего слоя, используемого для снижения морозного пучения, может быть получен за счет

- уменьшения объема качественных материалов, используемых в дорожной одежде для обеспечения ее морозоустойчивости;
- использования в верхней части земляного полотна местных пучинистых грунтов (без их замены);
- повышения долговечности конструкции вследствие исключения периодически возникающих деформаций морозного пучения;
- возможности понижения рабочих отметок насыпей на участках, где при традиционных конструкциях действуют ограничения СП 34.13330.2012⁵ по минимальному возвышению насыпи над уровнем подземных или поверхностных вод, а также над уровнем земли;
- понижения расчетной влажности грунта земляного полотна и соответствующего повышения расчетных значений прочностных характеристик грунта за счет снижения влагонакопления при процессе морозного пучения;
- снижения требуемой толщины дренажного слоя за счет исключения поступления воды снизу при оттаивании земляного полотна⁴.

Эффект от применения теплоизолирующего слоя для предотвращения оттаивания грун-

та, используемого в конструкции в мерзлом состоянии в зоне вечной мерзлоты, может быть получен за счет следующих факторов:

- уменьшение объемов привозных грунтов при сооружении земляного полотна по I-му принципу (сохранение мерзлого грунта);
- обеспечение возможности использования в земляном полотне грунтов с любой степенью увлажнения в виде мерзло-комковатого материала;
- обеспечение возможности уменьшения рабочих отметок насыпей, сооружаемых по I-му принципу в зоне вечной мерзлоты с соответствующим уменьшением объемов земляных работ;
- исключение необходимости замены грунта в основании дорожной одежды в выемке;
- повышение надежности и долговечности дорожной конструкции, запроектированной по I-му принципу;
- сокращение затрат на уплотнение грунтов при сооружении насыпей;
- снижение экологического ущерба при строительстве дорог в северных районах⁴.

Средняя рыночная стоимость дополнительной укладки слоя из пеноплекса на 100 м² автодороги – 193 951,64 руб. (включает в себя стоимость материалов и работ по укладке).

Так, например, для двухполосных нескоростных дорог второй и третьей категории установлена ширина 3,5 м (большинство дорог в Иркутской области, немагистрального типа).

Таким образом, удорожание строительства 1 км дороги с дополнительной прослойкой из пеноплекса составит 6 788 307 руб. Ниже приведены данные стоимости строительства 1 км автодорог в зависимости от категории с учетом дополнительной укладки слоя из пеноплекса и без него (табл. 5) и от варианта (табл. 6).

Таблица 5. Стоимость строительства 1 км полосы в зависимости от категории дороги
Table 5. The cost of building 1 km. lanes depending on the category of road

Категория дороги	Средняя стоимость строительства 1 км 1 полосы движения в зависимости от категории автомобильной дороги, млн руб.	Средняя стоимость строительства 1 км 1 полосы движения в зависимости от категории автомобильной дороги с учетом дополнительной укладки слоя из пеноплекса, млн руб.
I	39,1	45,89
II	38,6	45,39
III	17,2	23,99
IV	15,4	22,19
V	12,4	19,19

⁵СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85 // Kodeks.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095524> (02.08.2022).

Строительство дороги в обход вечномёрзлых линзовых грунтовых образований (рис. 3).

При устройстве автомобильной дороги «в обход» вечномёрзлых линзовых грунтовых образований дополнительное утепление дорожных одежд не требуется, однако в этом случае происходит «удорожание» – увеличение сметной стоимости строительства в зависимости от радиуса линзы. Расчет строится на основании принятия следующей модели:

1. Вечномёрзлая линза имеет округлую форму, приближенную к геометрическому кругу в проекции «вид сверху»;

2. Дорога строится по касательной к вечномёрзлой линзе и «обходит ее по краю»;

3. Увеличение протяженности дороги может быть рассчитано простым геометрическим способом исходя из радиуса вечномёрзлой линзы, например, по формуле Гюйгенса:

$$L \approx 2AB + \frac{1}{3}(2AB - AC).$$

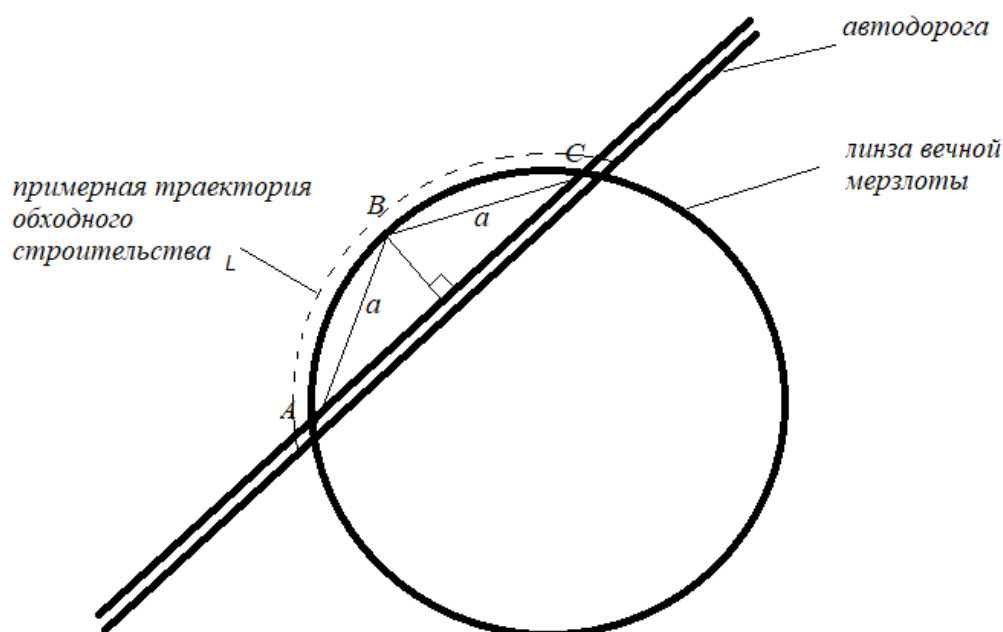


Рис. 3. Схема строительства дороги в обход вечномёрзлых линзовых грунтовых образований

Fig. 3. Scheme of road construction bypassing permafrost lens soil formations

Таблица 5. Анализ «удорожания» строительства в зависимости от варианта

Table 5. Analysis of the "rise in the cost" of construction, depending on the option

	Базовый вариант строительства	Строительство дорог на сваях	Обход вечномёрзлых линзовых грунтовых образований (из расчета диаметра линзы – 1 км)	С дополнительным устройством защитного слоя из пеноплекса
Абсолютная стоимость строительства 1 км дороги, 1 полосы, млн руб.	39,1	46,914	61,387	45,89
Удорожание в абсолютном значении, млн руб.	–	7,814	22,287	6,79
Удорожание	–	+	+++	+

*«+» – > 10%; «++» – > 20%; «+++» – > 30%.

Если же строящаяся автодорога упирается в линзу строго по ее диаметру, то обходная длина составит

$$L = \pi R.$$

Так, при обходе стандартной округлой вечномёрзлой линзы, диаметром 1 км, увеличение длины дороги составит

$$L \approx 3.14 \cdot 0.5 \approx 1.57 \text{ км.}$$

Из этого следует, что удлинение дороги составит примерно 57%.

По абсолютной стоимости для категории I это удорожание составит 22,287 млн руб.

ВЫВОДЫ

Из проведенных расчетов видно, что использование винтовых свай приведет к значительному удорожанию строительства автомобильных дорог. Однако использование такой

технологии никоим образом не повлияет на экологичность строительства дорог, кроме того, повысится безопасность эксплуатации. Таким образом, предпочтение следует уделить традиционному асфальтированию, а винтовые сваи использовать только на определенных участках дороги со слабым грунтом, который подвержен деформациям в период частичного оттаивания линзы.

Исходя из этого можно сделать вывод, что в настоящее время наиболее недорогим способом устройства автодороги в условиях вечной и линзовой мерзлоты является дополнительное устройство защитного слоя из теплоизолирующего материала. Вопрос надежности вариантов строительства в данной статье не рассматривается, авторы надеются продолжить его изучение в следующих работах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Balabanov V. B., Putsenko K. N., Epritskaya N. K. Research of frost resistance of heavy polymer concrete modified by silica fume // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 751. № 1. P. 012111. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012111>.
2. Balabanov V. B., Naptuhaev A. V. Investigation on the content of petroleum products in the surface runoff from the road pavements // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 751. № 1. P. 012112. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012112>.
3. Балабанов В. Б., Климовский И. А. Исследование различных составов полимерно-битумного вяжущего для строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог Иркутской области // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог в условиях региона: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 14 марта 2019 г.). Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. С. 39–46.
4. Ньят Тхюи З. Л., Епишкин Н. А., Балабанов В. Б., Барышок В. П. Высокопрочные и морозостойкие бетоны с применением технической серы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 3 (26). С. 122–129. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-3-122-129>.
5. Балабанов В. Б., Щеглачев И. В. Горячая регенерация асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. № 3. С. 8.
6. Балабанов В. Б., Бурлаков П. А., Угрюмова Д. А. Анализ причин и последствий возникновения трещин на асфальтобетонном покрытии // Молодежный вестник ИрГТУ. 2017. № 3. С. 7.
7. Шкабарня Н. Г., Агошков А. И., Шкабарня Г. Н. Оползневые процессы на территории Приморско-

- го края и методика их изучения // Современные технологии и развитие политехнического образования: сб. тр. Международной научной конференции (г. Владивосток, 19–23 сентября 2016 г.). Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2016. С. 265–269.
8. Агошков А. И., Брусенцова Т. А., Гутник А. Н. Ресурсы углеводородов континентального шельфа и проблемы загрязнения окружающей среды при разливах нефти // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 12. С. 3–8.
9. Агошков А. И., Татарчевская А. В., Чернышов О. И. Некоторые вопросы политики в области охраны и безопасности труда на магистральных трубопроводах нефти и газа // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2008. № 148-2. С. 36–38.
10. Konyukhov V. Yu., Nechaev A. S., Kichkin A. A. Investment toolkit development for estimation of enterprises innovative activity efficiency // Актуальні проблеми економіки. 2014. Т. 162. № 12. С. 236–251.
11. Nechaev A., Antipin D., Antipina O. Financial and tax instruments for stimulation of enterprises innovative activity // Problems and Perspectives in Management. 2014. Т. 12. № 2. С. 173–180.
12. Nechaev A., Antipina O., Matveeva M., Prokopenko A. Offshore schemes as an effective tax planning tool of enterprises' innovative activities // Економічний часопис-XXI. 2015. № 7-8-2. С. 40–43.
13. Nechaev A. S., Antipin D. A. Mechanism for assessing the efficiency of financing the enterprise innovative activities // Актуальні проблеми економіки. 2014. Т. 154. № 4. С. 233–237.
14. Гласко А. В., Калмыков А. М., Сидняев Н. И., Спиридонов П. В. Прогнозирование температурного режима грунтов оснований зданий и соору-

REFERENCES

1. Balabanov V. B., Putsenko K. N., Epritskaya N. K. Research of frost resistance of heavy polymer concrete modified by silica fume. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 751. No. 1. p. 012111. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012111>.
2. Balabanov V. B., Haptuhaev A. V. Investigation on the content of petroleum products in the surface runoff from the road pavements. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 751. No. 1. p. 012112. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012112>.
3. Balabanov V. B., Klimovskii I. A. Research of various compositions of polymer-bitumen binder for construction, reconstruction and repair of highways of the Irkutsk region. In: *Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog v usloviyakh regiona: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Modern problems of design, construction and operation of highways in the conditions of the region: proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 14 March 2019, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2019. p. 39-46. (In Russ.).
4. Nhat Thuy Giang Le, Epishkin N.A., Balabanov V.B., Baryshok V.P. Technical sulphur in high-strength and frost-resistant concrete. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018;8(3):122-129. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-3-122-129>.
5. Balabanov V. B., Shcheglachev I. V. Hot regeneration of asphalt concrete road surfaces. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = ISTU bulletin of Youth*. 2017;3:8. (In Russ.).
6. Balabanov V. B., Burlakov P. A., Ugryumova D. A. Analysis of the causes and consequences of cracking on asphalt concrete pavement. *Molodezhnyi vestnik IrGTU = ISTU bulletin of Youth*. 2017;3:7. (In Russ.).
7. Shkabarnya N. G., Agoshkov A. I., Shkabarnya G. N. Landslide processes on the territory of Primorsky Krai and methods of their study. In: *Sovremennye tekhnologii i razvitie politekhnicheskogo obrazovaniya: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Modern Technologies and development of Polytechnic education: proceedings of the International scientific conference*. 19-23 September 2016, Vladivostok. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2016. p. 265-269.
8. Agoshkov A. I., Brusentsova T. A., Gutnik A. N. Hydrocarbon resources of the continental shelf and environmental pollution problems in oil spills. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2012;12:3-8. (In Russ.).
9. Agoshkov A. I., Tatarchevskaya A. V., Chernyshov O. I. Some policy issues in the field of occupational safety and health on oil and gas trunk pipelines. *Trudy Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008;148-2:36-38. (In Russ.).
10. Konyukhov V. Yu., Nechaev A. S., Kichkin A. A. Investment toolkit development for estimation of enterprises innovative activity efficiency. *Aktual'ni problemi ekonomiki = Actual problems of economics*. 2014;162(12):236-251.
11. Nechaev A., Antipin D., Antipina O. Financial and tax instruments for stimulation of enterprises innovative activity. *Problems and Perspectives in Management*. 2014;12(2):173-180.
12. Nechaev A., Antipina O., Matveeva M., Prokopeva A. Offshore schemes as an effective tax planning tool of enterprises' innovative activities. *Ekonomichnii chasopis-XXI*. 2015;7-8-2:40-43.
13. Nechaev A. S., Antipin D. A. Mechanism for assessing the efficiency of financing the enterprise innovative activities. *Aktual'ni problemi ekonomiki = Actual Problems of Economics*. 2014;154(4):233-237.
14. Glasko A. V., Kalmykov A. M., Sidnyaev N. I., Spiridonov P. V. Soil temperature regime prediction for building bases and construction groundwork under conditions of lens frost. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Bauman*. 2012;7:142-153. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2012-7-310>.

Информация об авторах

С. В. Захаров,

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры экономики
и цифровых бизнес-технологий,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: ynd@istu.edu,
<https://orcid.org/0000-0002-8507-0352>

Information about the authors

Sergey V. Zakharov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Economics and Digital Business Technologies,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: ynd@istu.edu,
<https://orcid.org/0000-0002-8507-0352>

В. П. Лушпей,

доктор технических наук, профессор,
профессор отделения нефтегазового
и горного дела,
Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский,
п. Аякс, 10, Россия,
e-mail: lvp-2012@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7666-416X>

А. В. Ибрагимова,

магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 83,
e-mail: lanawhite@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5527-3485>

Янь Вэйна,

аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
e-mail: yanveina@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7332-0860>

Цзан Нань,

магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
e-mail: Czannan@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1603-1712>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в
подготовку публикации и несут ответственность
за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный
вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 25.08.2022.
Одобрена после рецензирования 15.09.2022.
Принята к публикации 20.09.2022.

Valery P. Lushpey,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Oil and Gas
and Mining,
Far Eastern Federal University,
10 Ajax Bay, Russky Island,
Vladivostok, Russia,
e-mail: lvp-2012@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7666-416X>

Alina V. Ibragimova,

Master Degree Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: lanawhite@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5527-3485>

Yan Weina,

Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: yanveina@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7332-0860>

Zang Nan,

Master Degree Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: Czannan@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1603-1712>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read
and approved by the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 25.08.2022.
Approved after reviewing 15.09.2022.
Accepted for publication 20.09.2022.