

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 504.064.4

DOI: 10.21822/2073-6185-2026-53-2-202-209



Оригинальная статья /Original article

Снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду путем оптимизации расхода компонентов для приготовления противогололедных смесей

А.К. Кралин¹, Д.А. Макеева²

¹Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный университет»,

¹286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2, Россия,

²Российский государственный университет нефти и газа

(научно-исследовательский университет) имени И.М. Губкина,

²119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1, Россия

Резюме. Цель. Целью данного исследования является совершенствование технологий и средств механизации борьбы со снежными заносами и гололедом в условиях Донбасса путем применения технологии и противогололедных материалов, адаптированных к климатическим условиям региона и обеспечивающих минимальное воздействие на окружающую среду, конкретно – оптимизация применения противогололедных смесей. **Метод.** Экспериментальный, расчетный и аналитический методы позволили добиться следующих результатов и сделать выводы. **Результат.** Рассматриваются новые способы рационализации способов приготовления ПГМ, распределения материалов и расширение возможностей использования существующей техники. Предложена методика оперативного расчёта состава компонентов смеси противогололедных материалов. **Вывод.** Полученные данные служат основой для дальнейшего внедрения эффективных и экологически сбалансированных технологий повышения уровня безопасности, в частности, рационального использования противогололедных материалов, оперативных расчётов для формирования противогололедных смесей сбалансированного состава.

Ключевые слова: противогололедная смесь, экологическая безопасность, городское хозяйство.

Для цитирования: А.К. Кралин, Д.А. Макеева. Снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду путем оптимизации расхода компонентов для приготовления противогололедных смесей. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026;53(2):202-209. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-202-209

Reducing the negative impact on the environment by optimizing the consumption of components for the preparation of deicing mixtures

A.K. Kralin¹, D.A. Makeeva²

¹Donbas National Academy of Construction and Architecture, Branch of the National Research Moscow State University,

¹ 2 Derzhavina St., DPR, Makeyevka 286123, Russia,

²Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University),

² 65 Leninsky Ave., Build.1, Moscow 119991, Russia

Abstract. Objective. The objective of this study is to improve technologies and mechanization for combating snow drifts and ice in the Donbas region by using technology and anti-icing materials adapted to the region's climatic conditions and ensuring minimal environmental impact, specifically, by optimizing the use of anti-icing mixtures. **Method.** Experimental, computational, and analytical methods enabled the following results and conclusions to be reached. **Result.**

New methods for streamlining the preparation of anti-icing mixtures, distributing materials, and expanding the use of existing equipment are considered. A method for quickly calculating the composition of anti-icing mixture components is proposed. **Conclusion.** The data obtained serve as a basis for further implementation of effective and environmentally balanced technologies for improving safety, in particular, the rational use of deicing materials and operational calculations for forming deicing mixtures with a balanced composition.

Keywords: environmental safety, urban management, deicing mixture.

For citation: A.K. Kralin, D.A. Makeeva. Reducing the negative impact on the environment by optimizing the consumption of components for the preparation of deicing mixtures. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2026;53(2):202-209. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-202-209

Введение. Комплексное исследование в области экологически безопасного использования противогололедных материалов имеет особую значимость и региональные особенности в современных условиях Донецкой Народной Республики. Способы максимально возможного использования фрикционных и смешанных материалов вместо химических проанализированы и обоснованы авторами в предыдущих блоках исследования [1, 2].

Постановка задачи. Экологичная и экономически рациональная обработка дорог противогололёдными материалами является частью обеспечения безопасности на дорогах в зимний период. Рационализация механизированного распределения была частично освещена в работе авторов [3] и в настоящей статье нашла своё развитие. В данной работе приводятся результаты расчётов, характеризующие зависимости приготовления ПГМ, распределения материалов и расширение возможностей использования существующей техники.

Результаты данной работы базируются на исследованиях и выводах, сделанных в области анализа воздействия химических ПГМ на почвы [4] и другие компоненты окружающей среды [5, 6, 7], а также рациональности использования материалов, которые являются отходами различных отраслей промышленности [8]. Изучены материалы зарубежных учёных в области безопасности на дорогах в зимний период, использования противогололёдных материалов и особенностей их применения в конкретных условиях [9-13]. Природно-климатические особенности зимнего периода и его влияние на формирование снежно-ледяного покрова подробно рассматриваются в работах Фролова Е.А., Кондаков Д.Ф., Вакорина А.Р. и др., в этих работах предложены методы борьбы с зимним буксованием с учётом климатических условий [6, 14]. Физико-механические свойства снега, влияния климатических условий, виды и свойства противогололёдных материалов проанализированы Павловской СС, Гусевым Л.М., в данных работах рассмотрены области применения противогололёдных материалов, влияние гололеда на транспорт и оперативных показателей [15, 16]. Также методы профилактики и борьбы с гололедом дорог рассмотрены А.К. Киялбаевым, А.А. Кунгурцевым, Д.В. Ивановым.

На снижение уровня негативного воздействия на окружающую среду существенное влияние оказывает оптимизация расхода компонентов для приготовления противогололёдных смесей для конкретных условий. Этот вопрос требует детального рассмотрения.

Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения безопасности дорожного движения, снижения экономических потерь и повышения качества жизни населения Донбасса в зимний период. Ежегодные снежные заносы и гололёд приводят к значительному увеличению числа ДТП, задержкам в работе транспорта и другим негативным последствиям. Разработка и внедрение современных технологий и средств механизации борьбы с этими явлениями является важной задачей, требующей комплексного подхода и учета специфических условий региона.

Методы исследования. В контексте комплексного подхода к борьбе с зимними опасностями, противогололёдные материалы являются фундаментом, на котором строится вся система обеспечения безопасности. Авторами выполнялся ряд работ, освещающих

вопросы, связанных с технологией приготовления и распределения противогололедных материалов, в том числе при использовании модуля распределения ПГМ, с возможной установкой его на автобетоносмеситель.

Известно, что распределение противогололедных материалов по дорожному покрытию осуществляют специальными распределителями для твердых, жидких и смоченных противогололедных материалов [17]. Активно используются в настоящее время распределители твердых противогололедных материалов, смонтированные на различных отечественных базовых шасси (ЭД-403, ЭД-242, ДМ-38, ЭД-224, КО-713М, Тройка-2000, КУМ-99 и др.). Для распределения жидких ПГМ применяются машины МКДС-4005, КУМ-100, ДКТ-503 и др. При отсутствии этих машин возможно применение поливомоечных машин с распределительным устройством РХ-10.

Распределение смоченных противогололедных материалов осуществляют отечественными машинами ЭД-243, НО-075 и др. [18, 19]. При оценивании сезонности использования технологических машин для борьбы с зимней скользкостью на проезжих частях было установлено, что применение автобетоносмесителей, а точнее обеспечение рабочего процесса рассматриваемой техники зимой ограничено отрицательными температурами, а обледенение дорог общего пользования, в тот же период, вызывает транспортный коллапс, последствия которого устраняются достаточно долгий период времени.

Авторами выполнялся ряд работ, освещающих вопросы, связанных с технологией приготовления и распределения противогололедных материалов, в том числе при использовании модуля распределения ПГМ, с возможной установкой его на автобетоносмеситель (рис.1).

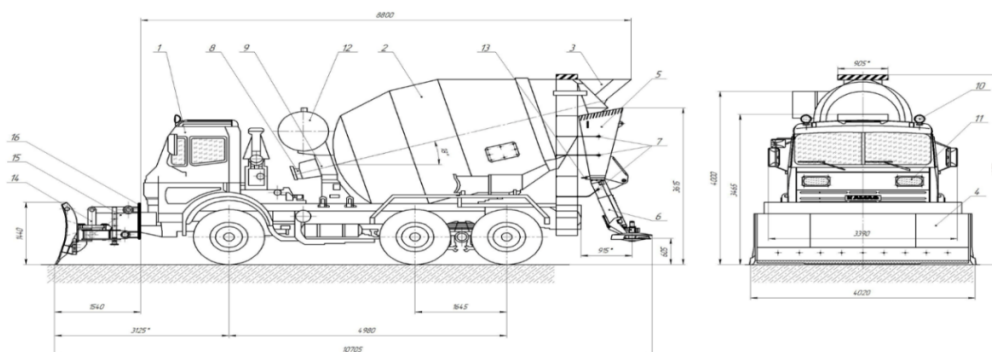


Рис. 1 - Автобетоносмеситель (АБС) с дополнительным навесным модульным оборудованием - распределителем противогололедных материалов (РПГМ)

1 - базовый автомобиль; 2 - смесительная установка; 3 - устройство загрузочное; 4 – снегоочиститель; 5 - бункер приемный; 6 - лоток распределительный; 7 – обвязка; 8 – гидромотор; 9 - редуктор планетарный; 10 - фары дополнительного освещения; 11 - фары головного освещения; 12 - бак для жидких добавок; 13 – заслонка; 14 - механизм подъема и опускания снегоочистителя; 15 - гидроцилиндр механизма подъема и опускания снегоочистителя; 16 - плита для дополнительного оборудования

Fig. 1 - Concrete mixer truck (CMT) with additional mounted modular equipment - anti-icing material distributor (AIDM)

1 - base vehicle; 2 - mixing unit; 3 - loading device; 4 - snow blower; 5 - receiving hopper; 6 - distribution chute; 7 - piping; 8 - hydraulic motor; 9 - planetary gearbox; 10 - additional lighting headlights; 11 - headlights; 12 - tank for liquid additives; 13 - damper; 14 - snow blower lifting and lowering mechanism; 15 - hydraulic cylinder of snow blower lifting and lowering mechanism; 16 - plate for additional equipment

Существенно уменьшит время реагирования на прогнозируемые или уже сложившиеся погодные условия оснащение оборудования с существующими элементами конструкции автобетоносмесителя дополнительным оборудованием (распределителем противогололедных материалов) креплениями, обеспечивающими быстрый монтаж и демонтаж. Для донецко-макеевского региона примером доступных фрикционных ПГМ является отход металлургического производства - гранулированный шлак. Зависимости между параметрами технологического процесса распределения по поверхности дороги определены физико-механическими свойствами этого материала [20]. Опираясь на данные [21, 22]

проведены расчёты. Определен расход компонентов для приготовления противогололедных смесей. Проведён детальный анализ и расчет оптимальных расходов компонентов для приготовления противогололедных смесей, используемых в системе механизированного распределения на базе дооборудованного автобетоносмесителя.

Основной задачей при определении расхода компонентов является достижение максимальной эффективности противогололедной обработки при минимизации затрат противогололедных материалов и снижении негативного воздействия на окружающую среду. Методология проводимого исследования включает: анализ свойств и характеристик базовых компонентов: солей (хлориды кальция, натрия), абразивных материалов (песок, гранулированный шлак); определение расхода солей для расплавления льда на поверхности дорог; выбор и определение расхода солей; расход солей на предупреждение примерзания снега к поверхности дороги или появления гололеда; расход солей на закрепление частиц инертных материалов в ледяной корке на поверхности дороги; определение диапазонов температур, при которых применяются те или иные смеси; определение пропорций, обеспечивающих требуемую температуру эффективной работы.

Обсуждение результатов. В исследованиях рассматривались следующие компоненты смесей: NaCl, CaCl₂ (90 %) и CaCl₂ (75 %). Проанализирована способность NaCl и CaCl₂ расплавлять лёд при различной его температуре, а также расход солей на плавление льда в зависимости от его толщины и температуры с учётом эвтектических точек.

На рис. 2 представлена способность анализируемых смесей плавить лёд.

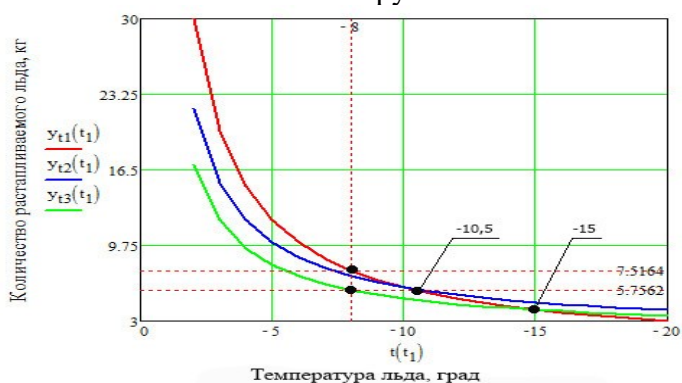


Рис. 2 - Способность NaCl и CaCl₂ расплавлять лёд при различной его температуре

Fig. 2 - The ability of NaCl and CaCl₂ to melt ice at different temperatures

На рис. 3 - расход солей на плавление льда в зависимости от его толщины и температуры.

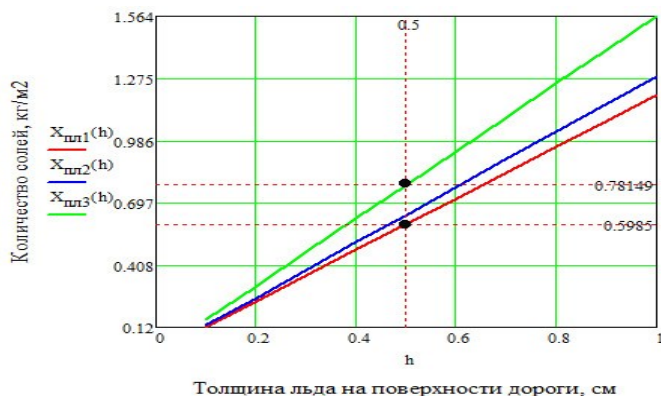


Рис. 3 - Расход солей на плавление льда в зависимости от его толщины и температуры

Fig. 3 - Salt consumption for melting ice, depending on its thickness and temperature

Для формирования оптимального комбинированного состава, содержащего соли и гранулированный шлак проанализированы следующие параметры – количество соли, объём фрикционного материала и температура льда. Зависимость количества солей,

которые нужно добавить к гранулированному шлаку для его закрепления в ледяной пленке, от температуры льда показана на рис. 4.

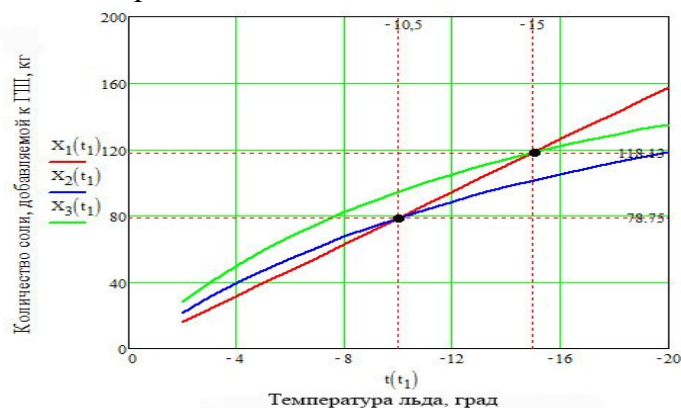


Рис. 4 - Зависимость количества солей, добавляемых к гранулированному шлаку для его закрепления в ледяной пленке, от температуры льда

Fig. 4 - Dependence of the amount of salts added to the granular slag for its fixation in the ice film on the temperature of the ice

Необходимо отметить, что NaCl действует медленнее, чем CaCl₂. Поэтому NaCl лучше применять при посыпке ночью или при небольшой интенсивности движения транспорта. При посыпке в дневные часы, когда интенсивность движения велика, следует предпочесть CaCl₂. Также определены значения объёмно-массовых соотношений предлагаемого комбинированного ПГМ - шлако-соляной смеси. Расчёты проводились для диапазона температур от -10 °C до -15 °C и объёма гранулированного шлака от 1 до 8 м³. Для примера в табл. 1 представлены соотношения для температуры -10,5 °C.

Для оперативного реагирования на погодные условия и регулирования формирования шлако-соляных смесей для конкретных условий возможно формирование аналогичных таблиц для любых параметров.

Таблица 1. Масса компонентов и ШСС для температуры окружающей среды -10,5°C
Table 1. Component and SCC weight for an ambient temperature of -10.5°C

Объем ГШ, м ³	Масса ГШ, кг	Температура -10,5°C					
		Соли, кг			Шлако-солевая смесь, кг		
		NaCl	90%-ный CaCl ₂	75%-ный CaCl ₂	NaCl+ГШ	90%-ный CaCl ₂ +ГШ	75%-ный CaCl ₂ +ГШ
1	2900	78,75	78,75	94,5	2978,75	2978,75	2994,5
2	5800	157,5	157,5	189	5957,5	5957,5	5989
3	8700	236,25	236,25	283,5	8936,25	8936,25	8983,5
4	11600	315	315	378	11915	11915	11978
5	14500	393,75	393,75	472,5	14893,8	14893,75	14972,5
6	17400	472,5	472,5	567	17872,5	17872,5	17967
7	20300	551,25	551,25	661,5	20851,3	20851,25	20961,5
8	23200	630	630	756	23830	23830	23956

Вывод. Оптимизация использования компонентов противогололёдных смесей является значительным шагом к повышению уровня экологической безопасности и экономической целесообразности формирования ПГМ. Полученные данные служат основой для дальнейшего внедрения эффективных и экологически сбалансированных технологий повышения уровня безопасности, в частности рационального использования противогололёдных материалов, оперативных расчётов для формирования противогололёдных смесей сбалансированного состава.

Библиографический список:

1. Макеева Д.А., Кралин А.К. Повышение уровня экологической безопасности путём повторного использования противогололёдных фрикционных материалов [Электронный ресурс] // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2022. – № 1 (50). – С. 112–122. – URL: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/112-122> (дата обращения: 23.01.2026).
2. Кралин А.К., Макеева Д.А. Исследование смёта противогололёдного материала для повторного использования [Электронный ресурс] // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – Март 2021. – № 5 (18). URL: http://donnasa.ru/publish_house/journals/sd/2022/sd_2022-1.pdf (дата обращения: 23.01.2026).
3. Кралин А.К., Макеева Д.А., Асеев Д.Г. Минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду при механизированном распределении противогололёдных материалов [Электронный ресурс] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – Вып. 5 (157). – С. 68–77. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-5\(157\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-5(157).pdf) (дата обращения: 23.01.2026).
4. Kelting D.L., Laxson C.L. Review of effects and costs of road de-icing with recommendations for winter road management in the Adirondack Park. Adirondack Watershed Institute [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: https://www.protectadks.org/wp-content/uploads/2010/12/Road_Deicing-1.pdf (дата обращения: 23.01.2026).
5. Minnesota Pollution Control Agency (MPCA). (2020). MS4 fact sheet-winter road materials management. – URL: https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=MS4_fact_sheet_-_Winter_Road_Materials_Management (дата обращения: 23.01.2026).
6. Фролова Е.А., Кондаков Д.Ф., Свешникова Л.Б. Применение физико-химического анализа при разработке и исследовании противогололёдных реагентов [Электронный ресурс] // Журнал неорганической химии. – 2019. – Т.64, №9. – С.984–987. – URL: <https://sciencejournals.ru/viewarticle/?j=nergkhim&y=2019&-v=64&n=9&a=NergKhim1909020Skiba> (дата обращения: 05.11.2025).
7. Барсуков, П.А. Влияние противогололёдных реагентов на свойства почв придорожных газонов г. Новосибирска / П. А. Барсуков, О. А. Русалимова // Почвы и окружающая среда. – 2024. – Т. 7, № 2. – DOI 10.31251/pos.v7i2.265. – EDN KXSFVS. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=70646066> (дата обращения: 05.11.2025).
8. Козырь Д.А. Оценка экологического риска при обращении с отходами недропользования / Д.А. Козырь // Научно-методический журнал XXI ВЕК: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс // Пензенский государственный технологический университет – 2024. - № 4(68), том 13, 320 стр., стр. 244–251. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79508320> (дата обращения: 27.01.2026).
9. Åkerblom G., Mjönes L. Exposure to workers in swedish quarrying Åkerblom Swedish Radiation Protection Authority SE-171 16 Stockholm, Sweden. – URL: https://www.ena-norm.eu/wpcontent/uploads/-/2018/03/N3_3.8.pdf – 04.11.2021 (дата обращения: 23.01.2026).
10. Akin M., Zhang Y., Shi X. Pavement Surface Treatments for Ice-Prone Locations in the Illinois Highway System; Illinois Center for Transportation, Rantoul, IL, USA, 2018. – URL: <https://www.ideals.illinois.edu/items/108738> (дата обращения: 23.01.2026).
11. Andrius Ružinskas, Matas Bulevičius, Henrikas Sivilevičius. Laboratory investigation and efficiency of deicing materials used in road maintenance. – URL: <https://journals.vilniustech.lt/index.php/Transport/search/search> (дата обращения: 23.01.2026).
12. Labashosky S. The salty truth: Revealing the need for stricter road salt application and storage regulations in the United States // Villanova Law Environmental Law Journal. – 2015. – Vol. 26 – URL: https://books.google.ru/books?id=TNhSDwAAQBAJ&redir_esc=y (дата обращения: 23.01.2026).
13. Shi X., Fu L. (Eds.). Sustainable Winter Road Operations. Wiley Blackwell, Hoboken, NJ, USA, 2018. – 512 p. URL: <https://litbit.ru/edition/fu-liping-shi-xianming/sustainable-winter-road-operations> (дата обращения: 15.04.2023).
14. Вакорин А.Р., Свиязов Е.М. Нейросетевая система прогноза гололеда в городе Перми [Электронный ресурс] // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века: сб. ст. по материалам Седьмой всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Пермь, 21–22 октября 2021 г. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2021. – С. 321–327. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47141136> (дата обращения: 28.01.2023).
15. Павловская С.С. Обзор существующих средств оценки состояния дорожного покрытия после применения реагентов и способов борьбы с зимней скользкостью [Электронный ресурс] // Актуальные вопросы технических наук: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Пермь, апрель 2015 г.). – Пермь: Зебра, 2015. – С. 125–128. – URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/125/7813> (дата обращения: 23.01.2026).
16. Гусев Л.М. Борьба со скользкостью городских дорог [Электронный ресурс]. – М.: Строй-издат, 1964. 102 с. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006101779> (дата обращения: 02.02.2023).__Кормз.

- Производитель дорожной техники: сайт. – Кемерово, 2000 -.- URL: <http://kormz.ru/company.html> (дата обращения 09.05.2024). – Текст: электронный. ООО Автоцентр-Техника. Дорожная техника: сайт – Оренбург, 2015 -.- URL: <http://avtocentr56.ru/> (дата обращения: 23.01.2026) – Текст: электронный.
17. Пушиков С.Г. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: учебное пособие / Пушиков С.Г., Казачек Н.С. — Москва: Инфра-Инженерия, 2018. — 184 с. — ISBN 978-5-9729-0226-2. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт] (дата обращения: 23.01.2026).
 18. Огородникова Е.Н. Вторичные ресурсы для дорожной индустрии – золы теплоэлектростанций и шлаки черной металлургии : учебное пособие / Огородникова Е.Н., Барабошкина Т.А., Мырзин В.А.. — Москва : Российский университет дружбы народов, 2013. — 244 с. — ISBN 978-5-209-05419-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/22166.html> (дата обращения: 23.01.2026).
 19. Автоматизация производственных процессов в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог: учебно-методическое пособие для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» — Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2020. — 102 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS:[сайт]. <https://www.iprbookshop.ru/99377.html> (дата обращения: 23.01.2026).
 20. Мерданов Ш.М. Зимнее содержание дорог : монография / Мерданов Ш.М., Егоров А.Л.. — Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. — 192 с. — ISBN 978-5-9961-2305-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/115042.html> (дата обращения: 10.12.2023).

References:

1. Makeeva D.A., Kralin A.K. Increasing the level of environmental safety by reusing deicing friction materials [Electronic resource] Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2022; 1 (50):112–122. – URL: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/112-122> (accessed: 23.01.2026).
2. http://donnasa.ru/publish_house/journals/sd/2022/sd_2022-1.pdf (accessed: 23.01.2026). Kralin A.K., Makeeva D.A. Research of Anti-Ice Material Dust for Reuse [Electronic resource] Scientific and Practical Journal "Donbass Builder". 2021;5:(18).
3. Kralin A.K., Makeeva D.A., Aseev D.G. Minimization of anthropogenic impact on the environment during mechanized distribution of deicing materials [Electronic resource] *Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2022;5(157):68–77 [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-5\(157\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-5(157).pdf) (accessed: 23.01.2026).
4. Kelting D.L., Laxson C.L. Review of effects and costs of road de-icing with recommendations for winter road management in the Adirondack Park. Adirondack Watershed Institute [Electronic resource]. 2010; https://www.protectadks.org/wp-content/uploads/2010/12/Road_Deicing-1.pdf (accessed: 23.01.2026).
5. Minnesota Pollution Control Agency (MPCA). (2020). MS4 fact sheet-winter road materials management. – https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php?title=MS4_fact_sheet_-_Winter_Road_Materials_Management (accessed on 23.01.2026).
6. Frolova E.A., Kondakov D.F., Sveshnikova L.B. Application of Physical and Chemical Analysis in the Development and Research of Deicing Agents [Electronic resource]. *Journal of Inorganic Chemistry*. 2019; 64(9):984–987 <https://sciencejournals.ru/viewarticle/?j=nerghim&y=2019&-v=64&n=9&a=NergKhim1909020Skiba> (accessed: 05.11.2025).
7. Barsukov, P.A. Influence of deicing agents on the properties of roadside lawn soils in Novosibirsk / P.A. Barsukov, O.A. Rusalimova. *Soils and the Environment*. 2024; 7(2): DOI 10.31251/pos.v7i2.265. – EDN KXSFVS. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=70646066> (date of reference: 05.11.2025).
8. Kozyr D.A. Assessment of environmental risk in the management of subsurface use waste. Scientific and Methodological journal XXI CENTURY: Results of the past and the problems of the present plus. *Penza State Technological University*. 2024;4(68)13:244-251. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79508320> (date of request: 01/27/2026).
9. Åkerblom G., Mjönes L. Exposure to workers in swedish quarrying Åkerblom Swedish Radiation Protection Authority SE-171 16 Stockholm, Sweden. – URL: https://www.ena-norm.eu/wpcontent/uploads/2018/03/N3_3.8.pdf – 04.11.2021 (дата обращения: 23.01.2026).
10. Akin M., Zhang Y., Shi X. Pavement Surface Treatments for Ice-Prone Locations in the Illinois Highway System; Illinois Center for Transportation, Rantoul, IL, USA, 2018. – URL: <https://www.ideals.illinois.edu/items/108738> (дата обращения: 23.01.2026).
11. Andrius Ružinskas, Matas Bulevičius, Henrikas Sivilevičius. Laboratory investigation and efficiency of deicing materials used in road maintenance. <https://journals.vilniustech.lt/index.php/Transport/search/search> (дата обращения: 23.01.2026).

12. Labashosky S. The salty truth: Revealing the need for stricter road salt application and storage regulations in the United States. *Villanova Law Environmental Law Journal*. 2015;26 – URL: https://books.google.ru/books?id=TNhSDwAAQBAJ&redir_esc=y (дата обращения: 23.01.2026).
13. Shi X., Fu L. (Eds.). *Sustainable Winter Road Operations*. Wiley Blackwell, Hoboken, NJ, USA, 2018;512 <https://litbit.ru/edition/fu-liping-shi-xianming/sustainable-winter-road-operations> (дата обращения: 15.04.2023).
14. Vakorin A.R., Sviyazov E.M. Neural Network System for Forecasting Ice in the City of Perm [Electronic resource] Artificial Intelligence in Solving Current Social and Economic Problems of the 21st Century: Collection of Articles Based on the Materials of the Seventh All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Perm, October 21–22, 2021. Perm:Perm State National Research University. Univ., 2021;321-327. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47141136> (date of access: 01/28/2023).
15. Pavlovskaya S.S. Review of existing means of assessing the condition of the road surface after the use of reagents and methods of combating winter slipperiness [Electronic resource] // Actual issues of technical sciences: proceedings of the III International Scientific Conference. (Perm, April 2015). – Perm: Zebra, 2015;125-128. – URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/125/7813> (date of request: (date of request: 01/23/2026).
16. Gusev, L.M. Combating Slipperiness on Urban Roads [Electronic resource]. Moscow: Stroyizdat, 1964. 102 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006101779> (accessed: 02.02.2023).__ 17. Kormz. Manufacturer of Road Machinery: website. – Kemerovo, 2000 -.- URL: <http://kormz.ru/company.html> (accessed on 09.05.2024). – Text: electronic. 18. LLC Avtocentr-Tekhnika. Dorozhnaya Tekhnika: website – Orenburg, 2015 -.- URL: <http://avtocentr56.ru/> (accessed on 23.01.2026) – Text: electronic.
17. Tsupikov S.G. Machines for construction, repair and maintenance of highways: a textbook / Tsupikov S.G., Kazachek N.S. — Moscow: Infra-Engineering, 2018; 184 p. — ISBN 978-5-9729-0226-2. — Text: electronic // Electronic library system IPR BOOKS: [website] (date of reference: 01/23/2026).
18. Ogorodnikova E.N. Secondary resources for the road industry – ashes of thermal power plants and slags of ferrous metallurgy : a textbook / Ogorodnikova E.N., Baraboshkina T.A., Mymrin V.A. — Moscow : Peoples' Friendship University of Russia, 2013;244 p. — ISBN 978-5-209-05419-1. — Text : electronic // IPR BOOKS electronic Library system : [website]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/22166.html> (accessed on 23.01.2026). — Access mode: for authorized users.
19. Automation of production processes in the construction and operation of highways: a study guide for students of the 08.03.01 "Construction" major, profile "Highways" Makeyevka: Donbass National Academy of Construction and Architecture, EBS ASV, 2020; 102 p. — Text: electronic // Electronic Library System IPR BOOKS : [website]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99377.html> (accessed on 23.01.2026). — Access mode: for authorized users.
20. Merdanov, Sh.M. Winter Road Maintenance: Monograph / Sh.M. Merdanov, A.L. Egorov. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2020; 192 p. SBN 978-5-9961-2305-6. Text: electronic // IPR BOOKS Electronic Library System: [website]. <https://www.iprbookshop.ru/115042.html> (accessed: 10.12.2023).

Сведения об авторах:

Кралин Андрей Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств; SPIN: 5594-4097; a.k.kralin@donnasa.ru

Макеева Дарья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации проектирования сооружений нефтяной и газовой промышленности; daria.makejeva@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0072-9638

Information about the authors:

Andrey K. Kralin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Ground Transport and Technological Complexes and Means; SPIN: 5594-4097; a.k.kralin@donnasa.ru

Daria A. Makejeva, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Automation of Design of Structures of the Oil and Gas Industry; daria.makejeva@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0072-9638

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 01.02.2026.

Одобрена после рецензирования/Reviced 01.03.2026.

Принята в печать/Accepted for publication 25.04.2026.