

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.765

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54

Холодный ресайклинг. Повышение эффективности использования на территории РФ

Е.С. Буданова^{1,2}, В.А. Ярмолинский²

Екатерина Сергеевна Буданова

¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

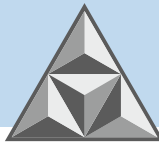
²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Российская Федерация

budanovaes@ystu.ru

Владимир Аполенарьевич Ярмолинский

²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Российская Федерация

1057289@madiasu.onmicrosoft.com



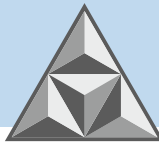
Рассмотрены проблемы поддержания существующей сети автомобильных дорог в нормативном состоянии в условиях повышенных требований к срокам службы дорожных конструкций, динамичного роста автомобилизации, изменения климата, сокращения затрат природных ресурсов и сохранения окружающей среды. В качестве эффективного метода усиления дорожных одежд существующей сети автомобильных дорог рассмотрена технология холодного ресайклинга. Произведен анализ нормативной документации, регламентирующей технологию холодного ресайклинга, выявлены основные недостатки применения технологии на территории РФ, препятствующие эффективному внедрению ее в дорожную отрасль, и предложены возможные варианты их решения.

Ключевые слова: автомобильные дороги, дорожная одежда, холодный ресайклинг, ремонт, водно-тепловой режим, климат

Для цитирования:

Буданова Е.С., Яролинский В.А. Холодный ресайклинг. Повышение эффективности использования на территории РФ // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3, № 2. С. 54-67 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54



RESEARCH PAPER

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54

Cold recycling. Improving the efficiency of use in the territory of the Russian Federation

E.S. Budanova^{1,2}, V.A. Yarmolinsky²

Ekaterina S. Budanova

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

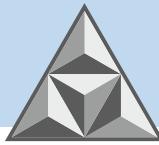
²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

budanovaes@ystu.ru

Vladimir A. Yarmolinsky

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

1057289@madiasu.onmicrosoft.com



The paper considers the problems of maintaining the existing road network in standard condition under the conditions of increased requirements to the service life of road structures, dynamic growth of motorization, climate change, reduction of natural resources costs and environmental conservation. The technology of cold recycling is considered as an effective method of strengthening the pavements of the existing road network. The normative documentation regulating the cold recycling technology was analyzed, the main drawbacks of the technology application in the territory of the Russian Federation, which prevent its effective implementation in the road sector, were revealed and the possible variants of their solutions were proposed.

Key words: roads, pavement, cold recycling, repairs, water-heat regime, climate

For citation:

Budanova, E.S. & Yarmolinsky, V.A. (2022) Cold recycling. Improving the efficiency of use in the territory of the Russian Federation, *Smart Composite in Construction*, 3(2), pp. 54-67 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V3N2_2022 (In Russian)

DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54



ВВЕДЕНИЕ

Территориальную целостность РФ и единство ее экономического пространства обеспечивают транспортные связи, которые выполняют роль «кровеносной системы» внутри государства и осуществляют внешнюю связь с мировым сообществом, тем самым обеспечивая интеграцию России в глобальную экономическую систему [1].

Развитие транспортной системы России является одной из приоритетных задач государственной деятельности.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р была утверждена Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, в рамках которой необходимо обеспечить эффективную, безопасную транспортную сеть.

В настоящее время одной из актуальных проблем является сохранение и поддержание транспортно-эксплуатационного состояния существующей сети автомобильных дорог. Опыт эксплуатации автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями показывает, что фактически нормативный срок службы дорожных одежд не обеспечивается, больше половины дорог регионального и межмуниципального значения не отвечает нормативным требованиям (рис. 1), особенно в регионах с переменчивым климатом и характерным сезонным переувлажнением.

ДОЛЯ ДОРОГ НЕ ОТВЕЧАЮЩИХ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ (%)

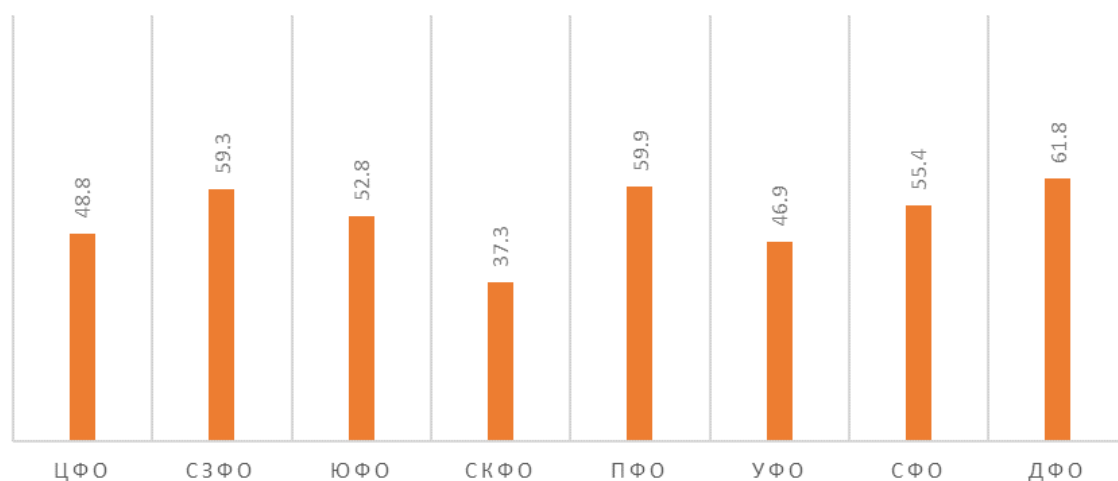


Рис. 1. Доля дорог регионального и межмуниципального значения, не отвечающих нормативным требованиям по регионам [2]

Fig. 1. Share of regional and intermunicipal roads that do not meet the regulatory requirements by region

На фоне удручающей статистики состояния дорог перед предприятиями дорожного хозяйства с 2017 года поставлена задача двукратного увеличения межремонтных сроков дорожной одежды нежесткого типа:

- для капитального ремонта – 24 года;
- для текущего ремонта – 12 лет [3].



Соблюдение новых межремонтных сроков составляют большую проблему для существующей сети автомобильных дорог, которую следует поддерживать в удовлетворительном состоянии за счет проведения соответствующих профилактических ремонтно-восстановительных работ с усилением.

ВОДА КАК ПРИЧИНА РАЗРУШЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Одной из основных причин отказа дорожной одежды нежесткого типа и проведения внепланового капитального ремонта является недопустимое нарушение ровности покрытия автомобильной дороги в виде повышенного трещинообразования, локальных просадок и формирования колеи.

Можно выделить три основные причины нарушения ровности покрытий дорожных одежд нежесткого типа:

- пластические деформации асфальтобетона из-за его размягчения под одновременным воздействием солнечной радиации и транспортной нагрузки;
- остаточные деформации, возникающие в период переувлажнения со снижением прочности слоев основания и подстилающих слоев дорожной конструкции;
- преждевременный износ материала в верхнем слое покрытия под воздействием шин автомобилей.

Накопление остаточных деформаций в покрытии и слоях основания зависит как от общей прочности дорожной одежды, так и от каждого ее отдельного слоя. Более прочные слои несущего основания могут значительно снизить вероятность образования деформаций, которые возникают вследствие накопления остаточных напряжений в слоях покрытия, а также защищать нижерасположенные подстилающие слои при их ослаблении и превышении транспортных нагрузок [4].

В процессе эксплуатации автомобильной дороги происходит регулярное сезонное снижение несущей способности дорожных одежд ввиду переувлажнения несвязных конструктивных слоев. Наибольшее ослабление отмечается в весенний период года и основными источниками увлажнения являются поверхностные (длительно стоящие) и грунтовые воды (рис. 2). Насыщение грунта земляного полотна влагой является крайне опасным и в значительной степени снижает его основные характеристики:

- модуль упругости E ;
- угол внутреннего трения ϕ ;
- удельное сцепление c .

При недостаточно прочной дорожной одежде, неспособной максимально поглотить и распределить напряжения от подвижного состава, а также при превышении расчетных нагрузок от транспортных средств, в грунтовом основании могут произойти пластические деформации и сдвиги, способствующие в дальнейшем преждевременному отказу дорожной конструкции.

В слабых несвязных конструктивных слоях дорожных одежд, а также в подстилающем грунте под действием нагрузки могут возникать зоны пластического течения, развитие которых приводит к необратимым сдвигам и потере прочности дорожной одежды. Очевидно, что причиной возникновения точек пластического течения в несвязных грунтах под действием нагрузки является нарушение предельного равновесия между частицами, т.е. при превышении их сопротивляемости сдвигу [5].

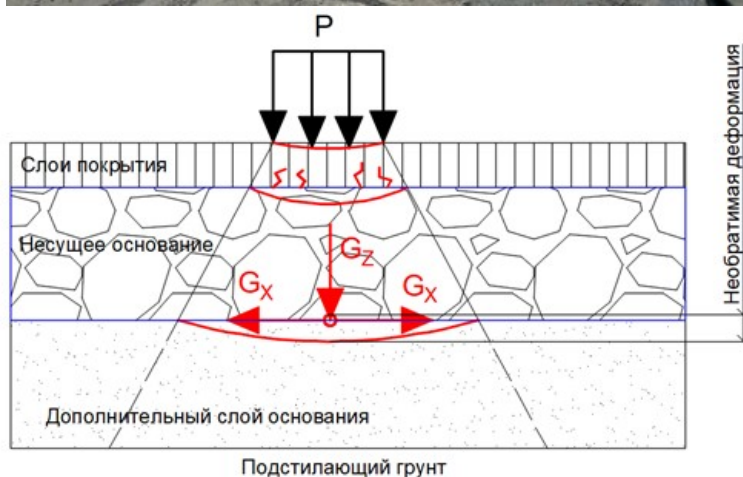


Рис. 2. Нарушение ровности покрытия вследствие необратимых сдвигов несвязных слоев оснований дорожной одежды под нагрузкой

Fig. 2. Disturbance of pavement flatness due to irreversible shifts of unbound pavement layers under load

В несвязных грунтах под действием нагрузки точки пластического течения возникают при нарушении предельного равновесия между частицами,

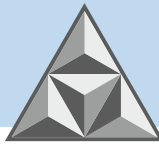
Особенное внимание следует уделять дорожным конструкциям в регионах, которым характерно сезонное переувлажнение [6].

Качество проектирования и срок службы автомобильных дорог в значительной мере зависят от полноты учёта особенностей природно-климатических условий территорий дислокации объектов транспортного строительства.

По итогам исследований [7] установлена устойчивая тенденция к изменению средних температур в сторону потепления на всей территории РФ, а также прогнозируется дальнейшее увеличение осадков, что напрямую будет оказывать влияние на водно-тепловой режим земляного полотна (рис. 3).

Из сезонов выделяется:

- влажная весна;
- сухое лето;
- снежная зима.



Рост осадков наблюдается во все сезоны. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается весной (5.9% нормы/10 лет). В дорожно-климатическом районировании РФ уже выделены районы с избыточным увлажнением, которые, в рамках изменения климата, в дальнейшем будут характеризоваться еще большим увлажнением.

Помимо ослабления основания дорожных одежд при переувлажнении, также следует учитывать прогрессирующие разрушения монолитных слоев, которые возникают при совокупности факторов «микротрещина – ПАВ – динамическое воздействие», обусловленное эффектом Ребиндера. При возникновении «чаши прогиба» в дорожных одеждах возникают растягивающие напряжения в монолитных слоях, при превышении которых образуются микротрещины. Вода при попадании в образовавшиеся микротрещины играет роль ПАВ, снижая прочность связей в асфальтобетоне и ускоряя процесс разрушения материала.

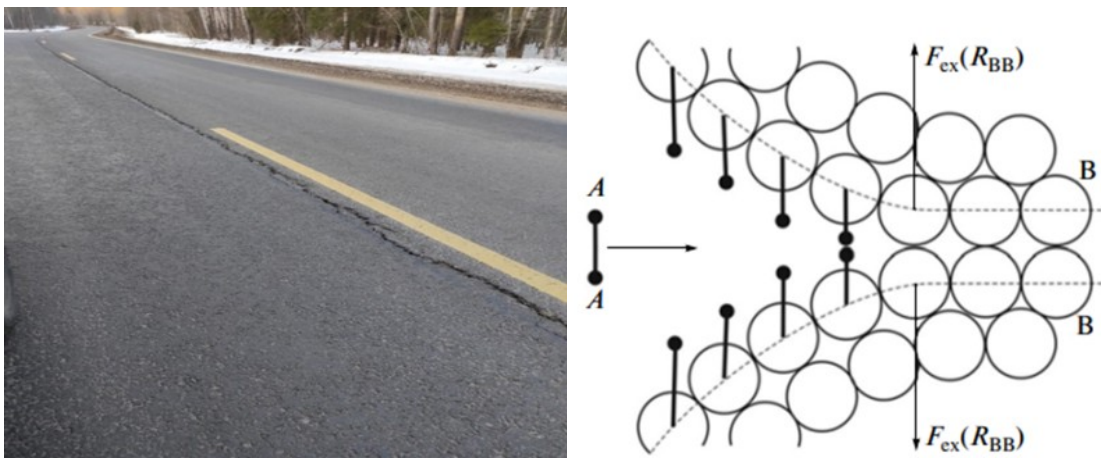


Рис. 3. Деформация покрытия и возможная модельная схема развития трещины с участием адсорбционно-активной среды (Молекулы A2, адсорбирующиеся в вершине, снижают прочность связей B-B) [8]

Fig. 3. Deformation of the coating and a possible model scheme of the crack development with the participation of the adsorption-active medium (A2 molecules adsorbed at the apex reduce the strength of B-B bonds)

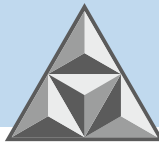
Следует выделить две формы проявления эффекта Ребиндера в дорожных конструкциях:

- 1) многократное снижение прочности материалов при наличии ПАВ и механическом воздействии;
- 2) пластифицирующие действия ПАВ на материал (глинистый грунт).

Анализируя вышеизложенное, следует отметить, что обеспечение нормативных межремонтных сроков службы на существующей сети автомобильных дорог является трудноразрешимой задачей, требующей колоссальных материальных и финансовых затрат и устранения усталостных остаточных напряжений.

Для усиления конструкции нужно решить три задачи:

- 1) Обеспечить максимальное поглощение напряжений от транспортных средств, приходящиеся на увлажненное грунтовое основание, за счет создания мощного однородного слоя несущего основания
- 2) Ликвидация остаточных напряжений в слоях несущего основания
- 3) Ликвидация трещин и минимальное количество границ слоев в композитной конструкции дорожной одежды.



Вышеперечисленные задачи можно решать в рамках капитального ремонта, с полной заменой слоев несущего основания и покрытия дорожных одежд. В условиях недостаточного финансирования и зачастую отсутствия качественных строительных материалов – это трудноразрешимая задача. Средняя стоимость капитального ремонта 1 км 1 полосы движения в целом по сети дорог составляет 20 400,410 тыс. рублей [9].

Тогда как средняя стоимость ремонта 1 км автомобильной дороги с условной шириной 7 м в целом по сети дорог вдвое меньше и составляет 10 581,424 тыс. рублей [9]. Но зачастую в состав работ по ремонту входит только замена слоев асфальтобетонного покрытия, без усиления и ликвидации остаточных деформаций и напряжений в несущих слоях основания, что в последующей проявляется на покрытии в виде отраженных трещин.

РЕСАЙКЛИНГ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Эффективным способом повышения прочности нежестких дорожных одежд является создание монолитного слоя несущего основания, при этом все технологические решения должны быть подчинены общей цели – достижению оптимальных структур получаемых материалов, обеспечивающих их долговечность при минимальных ресурсных затратах и максимальной охране окружающей среды.

Учитывая необходимость сокращения объемов использования первичных природных ресурсов в дорожном строительстве, в том числе и асфальтобетона, возникает отдельная технико-экономическая проблема оптимизации расходов на материалы в сметной стоимости строительства.

В последние годы во всем мире растет интерес к отходам как ценному виду сырья, поскольку повторное использование материалов решает проблему утилизации отходов и сокращает объемы добычи новых ископаемых, отсюда ощутимая экологическая и экономическая выгода от рециклинга.

Дорожная отрасль не является исключением в этом вопросе, повторное использование материалов от разборки асфальтобетонного покрытия при восстановлении автомобильных дорог в последние годы привлекло большое внимание.

Если рассматривать технологию переработки асфальтового гранулята не только с точки зрения экономики, а учитывать также экологическую составляющую, то предпочтение следует отдать холодной регенерации, то есть переработке асфальтового гранулята для создания конструктивных слоев дорожных одежд без предварительного нагрева и дополнительных транспортировок.

Основное преимущество данной технологии перед традиционными методами ремонта дорог – это возможность создания регенерированных слоев не только для устройства покрытий, но и создание мощных гомогенных слоев несущего основания, а также технология отвечает принципам устойчивого развития в строительстве по вопросам рециклинга и сохранения окружающей среды.

Вместе с тем до настоящего времени нет обоснованной, детальной систематизации конструирования дорожных одежд с использованием метода холодной регенерации, что препятствует широкому внедрению эффективного использования данной технологии.

При холодной регенерации слоев существующей дорожной одежды создается слой из асфальтогранулобетонной смеси (далее АГБС), основной проблемой которой является сложность создания оптимальной структуры, поскольку, наряду с непостоянством толщин существующей дорожной одежды, ключевым является определение вида и количества вяжущего.



Факторы, влияющие на структуру и состав АГБС, можно разделить на три группы:

- внешние факторы;
- факторы т.н. «конструктивной особенности»;
- внутренние факторы;

К внешним следует относить расчетную транспортную нагрузку и природно-климатические факторы, сообразно традиционной методике проектирования нежестких дорожных одежд. При учете внешних факторов также следует уделять внимание дорожно-климатическому районированию, в частности требованиям к водостойкости и морозоустойчивости, которые, к примеру, для северных районов Российской Федерации должны быть в приоритете при проектировании составов АГБС. А также методика испытаний образцов должна быть ориентирована на учет региональных особенностей.

В зависимости от того, в каком конструктивном слое дорожной одежды будет располагаться АГБС (покрытие или основание), напрямую зависит ее структура и состав.

Внутренними факторами, которые будут оказывать влияние на количество и вид вяжущего в АГБС, являются количество и степень старения битума в асфальтовом грануляте, а также его гранулометрический состав.

Наряду с исследованием прочностных показателей, модуль упругости не является исчерпывающей характеристикой в АГБС. Следует также учитывать региональные особенности эксплуатации, это прежде всего районы с избыточным увлажнением и частым переходом температур окружающей среды через 0°C.

ХОЛОДНЫЙ РЕСАЙКЛИНГ И НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В РФ

При анализе нормативной документации, регламентирующей технологию холодного ресайклинга в Российской Федерации, следует отметить поверхностность, отсутствие четких рекомендаций по проектированию составов АГБС, а также учет дорожно-климатического районирования:

1) СТО НОСТРОЙ 2.25.159-2014 «Холодная регенерация конструктивных слоев для устройства оснований дорожных одежд»:

- подбор вяжущего для АГБС осуществляется по результатам лабораторных исследований;
- требования к физико-механическим свойствам подбираются согласно ГОСТ 9128-2009, ГОСТ 23558-94, ГОСТ 30491-2012;
- региональные особенности учитываются согласно ГОСТ 9128-2009, ГОСТ 23558-94, ГОСТ 0491-2012.

2) ПНСТ 306-2018 «Смеси органоминеральные холодные с использованием переработанного асфальтобетона (РАП)».

- требования к физико-механическим показателям АГБ учитываются в зависимости от выполняемой функции – покрытие или основание;
- нет учета региональных особенностей.

3) СТО НОСТРОЙ 2.25.35-2011 «Устройство оснований дорожных одежд. Часть 7 строительство оснований с использованием асфальтобетонного гранулята».

- при подборе состава АГБС следует ссылаться на ОС-568-р;
- представлены расчетные значения кратковременных модулей упругости для различных видов АГБС;
- нет учета региональных особенностей.



4) ОДМ 218.6.1.005-2021 «Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации».

– физико-механические показатели АГБ подбираются в зависимости от выполняемой функции – покрытие или основание;

– нет учета региональных особенностей.

5) СТО 03441578-0005-2016 «Смеси асфальтогранулобетонные и асфальтогранулобетон для автомобильных дорог»

– нет учета региональных особенностей.

Актуальные нормативы, регламентирующие технологию холодного ресайклинга, носят поверхностный характер. Подбор составов АГБС рекомендуется определять лабораторным путем по общим прочностным характеристикам и водостойкости, при этом методика испытаний образцов не учитывает особенностей последующей эксплуатации материала, следует рассмотреть вопрос о введении региональных поправок, в особенности для регионов с избыточным увлажнением.

Анализ отечественных статей также говорит о заинтересованности исследователей в вопросе подбора оптимальных составов АГБС. К примеру, в работе [10] предложена разработка методики оптимизации процесса проектирования дорожных одежд, направленная на разработку системы типовых конструкций с использованием асфальтогранулята методом холодной регенерации, на основе применения экологически и энергоэффективных материалов. В качестве теоретических предпосылок для обоснования такой методики предложено использовать экосистемный подход в инженерной деятельности.

В [11,12] рассмотрены общие принципы подбора состава АГБС, с привязкой к ОС-568-р в вопросе определения оптимального количества вяжущего, а также определение оптимального содержания жидкого компонента, необходимого для уплотнения предложено с помощью модифицированного теста Проктора, а также орегонского метода.

Ряд работ [13-15], затрагивающих вопросы проектирования оптимальных составов АГБС, носит общий характер. Рецепты приготовления смесей производят на основе органических или комплексных вяжущих с испытаниями в стандартных условиях. Оптимальность образцов устанавливается расчетным путём по стандартным прочностным показателям и водостойкости, с учетом или без учета коэффициента упаковки гранул. При этом отсутствуют исследования, выходящие за рамки существующих нормативных требований, которые дифференцируют условия дальнейшей эксплуатации.

Проведенное сравнение методик подбора составов АГБС по отечественным нормам и немецкой методике Wirtgen [16], в свою очередь, не учитывает разнообразие географических зон Российской Федерации; при этом оптимальность составов АГБС также оценивают общими требованиями к прочности и водостойкости. Значительное внимание следует уделить и самой технологии холодной регенерации, поскольку высокая ее эффективность и производительность, по сравнению с традиционными методами ремонта автомобильных дорог [17], не вызывает сомнений.

ВЫВОДЫ

В РФ технология холодного ресайклинга находится на стадии своего становления. Это подтверждает как несовершенство нормативной документации, которая представлена в основном рекомендациями, без утвержденных стандартов, так и высокая публикационная активность в области исследований.

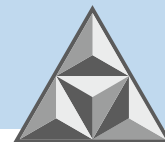


Для полноценного внедрения технологии регенерации на территории РФ необходима разработка конкретных методик, учитывающих разнообразие климатических условий, при этом учет нижеследующих проблем:

- прогнозируемый динамичный рост автомобилизации и подвижности населения (увеличение расчетных нагрузок);
- прогнозируемое увеличение осадков на всей территории Российской Федерации в рамках глобального изменения климата (повышение влажности грунтов со снижением их несущей способности);
- повышение нормативных межремонтных сроков до 24 лет (возросшие требования к заданным уровням надежности сооружений);
- проблема утилизации отходов (асфальтогранулят относится к IV классу опасности, что подразумевает нарушение экологической системы с периодом самовосстановления более 3 лет, что требует в соответствии с "Постановление 3 Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий", целого ряда дорогостоящих мероприятий по предотвращению негативного воздействия на окружающую среду);
- эмиссия парниковых газов (в первую очередь углекислого газа (CO₂));
- невозобновляемость природных ресурсов (минеральное сырье).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Прусова В.И., Безновская В.В., Прозументова В.В.** Роль транспортного комплекса в экономике РФ // *Экономика и бизнес: теория и практика*. 2017. Т. 4, № 1. С. 138-143.
2. Доля дорог, не отвечающих нормативным требованиям. Статистические данные. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/>
3. Постановление Правительства РФ от 30 мая 2017 г. № 658 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201706020012>
4. **Скрышник Т.В., Заяц С.К.** Анализ существующих подходов повышения прочности асфальтобетонных покрытий // *Вести Автомобильно-дорожного института*. 2019. № 2 (29). С. 44-51.
5. **Мошенжал А.В.** Совершенствование проектирования дорожных одежд с конструктивными слоями из малосвязных грунтов, армированных геосинтетическими материалами: дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 2016. 168 с.
6. **Кокодева Н.Е.** Совершенствование методов управления влажностью грунта земляного полотна в весенний период года с целью снижения // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2010. Т. 1, № 52. С. 195-202.
7. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. URL: <http://climatechange.igce.ru>.
8. **Малкин А.И.** Закономерности и механизмы эффекта Ребиндера // *Коллоидный журнал*. 2012. Т. 74, № 2. С. 239–256.



9. Доклад о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации (2020 год). URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11570?>
10. **Девятков М.М., Тянь В.Ю., Журавлев А.В.** Методика оптимизации процесса проектирования дорожных одежд с использованием асфальтогранулята // *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 6(78) С. 388-398.
11. **Журавлев Д.В., Траутвайн А.И.** Требования к проектированию составов асфальтогранулобетона // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. науч. тр.* Белгород, 2017. С. 2082-2087.
12. **Нефедов А.В., Траутвайн А.И.** Проектирование состава асфальтобетонной смеси для холодного ресайклинга // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. науч. тр.* Белгород, 2015. С. 594-598.
13. **Измаилова Г.Г., Сивохина Е.С., Ельшибаев А.О.** К вопросу применения битумной эмульсии в составе ресайклированного слоя // *Вестник КазАТК*. 2018. № 2 (105). С. 182-188
14. **Еремин А.В., Курдюков Р.П.** Определение рецепта приготовления асфальтогранулобетонной смеси // *Высокие технологии в строительном комплексе*. 2019. № 1. С. 37-41.
15. **Ярмолинский В.А., Жабкин М.О., Ярмолинская Е.В.** Исследование оптимального количества вяжущего при укреплении асфальтогранулобетона. Автомобильные дороги и безопасность движения // *Международный сборник научных трудов*. Хабаровск: Тихоокеанский ГУ, 2020. С. 305-313.
16. **Долинский Я.А., Свиридов В.Л., Соловьев А.С.** Оптимизация составов асфальтогранулобетонных смесей при ремонте автомобильных дорог по методу холодной регенерации // *V Международная научно-практической конференция: сб. материалов*. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. С. 647-654.
17. **Verbin V.Yu., Dudin V.M.** Selection of technology for highway road surface overhau // *Smart Composite in Construction*. 2020. Vol. 1, no. 1. P. 65-70. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020 DOI: 10.52957/27821919_2020_1_65

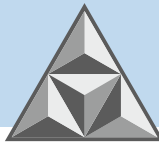
Поступила в редакцию 23.05.2022

Одобрена после рецензирования 20.06.2022

Принята к опубликованию 22.06.22

REFERENCES

1. **Prusova, V.I., Beznovskaya, V.V. & Prozumentova, V.V.** (2017) The role of transport complex in the economy of the Russian Federation, *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 4(1), pp. 138-143 (in Russian).
2. Share of roads that do not meet regulatory requirements. Statistical data [online]. Available at: <https://rosavtodor.gov.ru/> (in Russian).
3. Decree of the Government of the Russian Federation of May 30, 2017 № 658 "On the standards of financial costs and the Rules for calculating the amount of budgetary allocations from the federal budget for major repairs, repairs and maintenance of roads of federal importance" [online]. Available at:



- <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201706020012> (in Russian).
4. **Skrypnik, T.V. & Zayats, S.K.** (2019) Analysis of existing approaches to increase the strength of asphalt concrete pavements, *Vesti avtomobilno-road institute*, (2), pp. 44-51 (in Russian).
 5. **Moshenzhal, A.V.** (2016) Improvement of road pavement design with structural layers of low cohesion soils reinforced with geosynthetic materials. PhD thesis. Khabarovsk. 168 p. (in Russian).
 6. **Kokodeeva, N.E.** (2010) Improvement of soil moisture control methods of the earth bed in the spring period of the year in order to reduce, *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 1(52), pp. 195-202 (in Russian).
 7. *Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2021* [online]. Available at: <http://climatechange.igce.ru> (in Russian).
 8. **Malkin, A.I.** (2012) Laws and mechanisms of the Rebinder effect, *Kolloidnyy zhurnal*, 74(2), pp. 239-256 (in Russian).
 9. *Report on the cost of construction, reconstruction, overhaul, repair and maintenance of 1 km of public roads of the Russian Federation (2020)* [online]. Available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/11570?> (in Russian).
 10. **Devyatov, M.M., Tyan, V.Y. & Zhuravlev, A.V.** (2021) Methodology of optimization of road pavement design using asphalt granulate, *Inzhenernyy vestnik Dona*, (6), pp. 388-398 (in Russian).
 11. **Zhuravlev, D.V. & Trautvain, A.I.** (2017) Requirements for the design of asphalt granulated concrete compositions, *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: sb. nauch. tr.* Belgorod, pp. 2082-2087 (in Russian).
 12. **Nefedov, A.V. & Trautvain, A.I.** (2015) Designing the composition of asphalt concrete mixture for cold recycling, *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: sb. nauch. tr.* Belgorod, pp. 594-598 (in Russian).
 13. **Izmailova, G.G., Sivokhina, E.S. & Elshibaev, A.O.** (2018) Application of bitumen emulsion as a part of recycled layer, *Vestnik KazATK*, (2), pp. 182-188 (in Russian).
 14. **Eremin, A.V. & Kurdyukov, R.P.** (2019) Determination of the recipe for the preparation of asphalt-granulated concrete mixture, *Vysokiye tekhnologii v stroitelnom komplekse*, (1), pp. 37-41 (in Russian).
 15. **Yarmolinsky, V. A., Zhabkin, M.O. & Yarmolinskaya, E.V.** (2020) Investigation of the optimal amount of binder when strengthening asphalt granulated concrete. *Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov*. Khabarovsk: Tikhookeanskiy GU, pp. 305-313 (in Russian).
 16. **Dolinsky, Y.A., Sviridov, V.L. & Solovyov, A.S.** (2021) Optimization of asphalt-granule-concrete mixtures during repair of highways by the method of cold regeneration. *V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskoy konferentsiya: sb. materialov*. Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobilno-dorozhnyy universitet (SibADI). pp. 647-654 (in Russian).
 17. **Verbin, V.Yu. & Dudin, V.M.** (2020) Selection of technology for highway road surface overhaul, *Smart Composite in Construction*, 1(1), pp. 65-70 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020. DOI: 10.52957/27821919_2020_1_65

Received 23.05.2022

Approved after reviewing 20.06.2022

Accepted 22.06.22