

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, AND TUNNELS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 179–197.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (5): 179–197.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.168:625.861

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-179-197

EDN: ZHWVQF

КАЧЕСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Виктор Николаевич Лукашевич, Ольга Дмитриевна Лукашевич

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Несмотря на положительные изменения в дорожном строительстве, связанные с реализацией нацпроектов, направленных на значительный рост качественных и количественных показателей дорожно-транспортной инфраструктуры страны, задачи ресурсосбережения, охраны окружающей среды и экологической безопасности остаются актуальными в силу недостаточного внимания к ним.

Цель исследования – проанализировать взаимосвязи между показателями качества и экологической безопасностью автомобильной дороги в контексте устойчивого развития.

Результаты. Рассмотрены вопросы баланса экологического, социального, экономического компонентов дорожно-транспортной инфраструктуры как системы. Комплексное развитие дорожного строительства должно быть функциональной основой этой системы на всех стадиях жизненного цикла: проектирования, строительства, эксплуатации автомобильной дороги. Дана оценка соответствия фактической ситуации в регионах современным реалиям нормативно-правовой базы и экономическим возможностям их реализации. В статье представлены основные факторы воздействия строительно- и эксплу-

атационно-технологических средств на окружающую среду в течение жизненного цикла автомобильной дороги. Авторами показана необходимость разворота дорожного строительства в сторону активного использования инновационных разработок, повышающих качество и безопасность дорожно-транспортной инфраструктуры при одновременном решении вопросов ресурсосбережения и рационального природопользования.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожно-строительная отрасль, эколого ориентированная дорожная инфраструктура, экологическое качество

Для цитирования: Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д. Качество, эксплуатационные свойства и экологическая безопасность автомобильной дороги в контексте устойчивого экономического развития // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 179–197. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-179-197. EDN: ZHWVQF

ORIGINAL ARTICLE

QUALITY, OPERATING PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF AUTOMOBILE ROAD IN SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Viktor N. Lukashevich, Olga D. Lukashevich

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Despite positive changes in the road construction associated with the implementation of national projects aimed at a significant increase in the qualitative and quantitative indicators of the road and transport infrastructure, the resource conservation, environmental protection and safety remain relevant due to insufficient attention to them.

Purpose: The analysis of the relationship between quality indicators and environmental safety of the road in the sustainable development.

Approach: Balance is considered between ecological, social, economic components of the road transport infrastructure. The integrated development of road construction should serve as a functional basis of this infrastructure at all stages of the life cycle: the road design, construction, operation.

Research findings: The correspondence of the actual situation in regions to modern regulatory and legal documents and economic possibilities of their implementation is considered herein. The impact of construction and operational and technological means on the environment is shown for the road life cycle. It is shown that the road construction must be oriented towards the use of innovative development that improves the quality and safety of the road transport infrastructure while addressing issues of resource conservation and environmental management.

Keywords: road, road construction industry, environmentally-oriented road infrastructure, ecological quality

For citation: Lukashevich V.N., Lukashevich O.D. Quality, operating properties and environmental safety of automobile road in sustainable economic development. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 179–197. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-179-197. EDN: ZHWVQF

Введение

Интенсивный рост дорожного строительства, стремительное увеличение парка легкового и грузового (особенно большегрузного) транспорта, его коли-

качественных и количественных показателей, критически важных для целостности и надежности дорожного полотна, значительное разрастание транспортно-технологической инфраструктуры, изменение под их влиянием ландшафтов и другие факторы напрямую и косвенно все сильнее обостряют проблему экологической дорожно-транспортной безопасности [1, 2, 3]. Экологические, технико-технологические, социальные, экономические аспекты качества автомобильных дорог в разное время рассматривались авторами работ [3, 4, 5, 6, 7]. Показатели и нормативы экологической безопасности автомобильной дороги регламентированы техническим законодательством. К ним относятся, например, следующие федеральные и ведомственные нормативно-правовые документы: ГОСТ Р 59205–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Охрана окружающей среды. Технические требования»; ГОСТ 17.5.3.02–90 «Охрана природы. Земли. Нормы выделения на землях государственного лесного фонда защитных полос лесов вдоль железных и автомобильных дорог»; ГОСТ 32957–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Экраны акустические. Технические требования»; СНиП 2.05.02–85 «Автомобильные дороги»; СП 78.13330–19 «Автомобильные дороги»; ОДМ 218.011-98 «Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог»; ОДН N OC-1181-р от 31.12. 2002 «Экологическая безопасность автомобильной дороги: понятие и количественная оценка»; ОДН 218.5.016-2002 «Показатели и нормы экологической безопасности автомобильной дороги»; ОДМ 218.4.005-2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах»; ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам»; ОДМ 218.3.031-2013 «Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог» и др. Однако, несмотря на серьезное внимание со стороны научно-исследовательских дорожно-строительных организаций, а также управляющих и контролирующих государственных экологических и медико-санитарных структур к совершенствованию природоохранной деятельности в транспортно-технологической инфраструктуре, многие проблемы остаются нерешенными ввиду их сложности, многозначности, межведомственного характера, необходимости применения системного подхода.

Целью исследования стало выявление и анализ взаимосвязи между показателями качества автомобильной дороги на разных стадиях жизненного цикла и ее экологической безопасностью в контексте устойчивого развития, рассматриваемого как баланс экологического, социального, экономического компонентов дорожно-транспортной инфраструктуры как системы; освещение инновационных эколого ориентированных направлений развития дорожного строительства.

Материалы и методы исследований

Авторами обобщены материалы, опубликованные в периодических изданиях, а также результаты лабораторных и эксплуатационных исследований ресурсосберегающей технологии дисперсного армирования асфальтобетона.

Результаты и обсуждение

Качество и безопасность дорожно-транспортной инфраструктуры

Эксплуатационные свойства автомобильной дороги, определяющие ее качество, безопасность, формируются в результате совместного воздействия следующих факторов:

- соблюдение экологических и нормативно-технических требований и стандартов при разработке проекта дороги;
- применение при строительстве наиболее эффективных/наилучших доступных/инновационных технологий и материалов, специальной техники и оборудования;
- обязательный производственный и экологический контроль за выполнением работ;
- эксплуатация/содержание объектов дорожной инфраструктуры в строгом соответствии с регламентом;
- осуществление органами управления дорожно-транспортной инфраструктурой круглосуточного наблюдения и контроля.

Важнейшие элементы, которые совокупно определяют качество дорожно-транспортной инфраструктуры как системы, представлены на рис. 1.

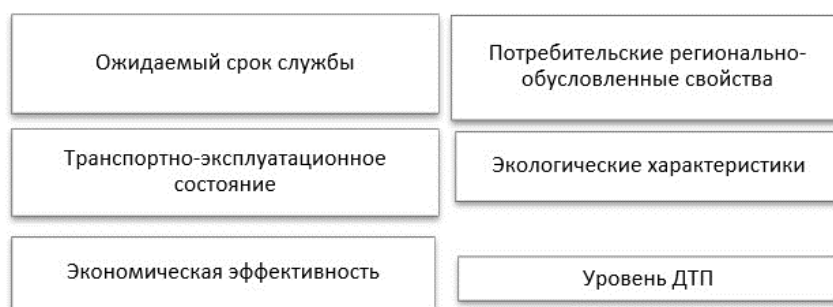


Рис. 1. Совокупность элементов, определяющих качество дорожно-транспортной инфраструктуры как системы

Fig. 1. A set of elements that determine the quality of road transport infrastructure

Каждый элемент системы является ее подсистемой, в которой также можно выделить составные элементы. К примеру, в составе экологических характеристик – степень загазованности; уровень пылевой нагрузки; вибрации, акустическое воздействие (включая ультра- и инфразвуковое воздействие на окружающую среду); загрязнение природных вод, зависящее от их локализации и эффективности отведения дождевых и снеготалых вод; чрезмерный перегрев дорожной одежды в жаркое время года, изменяющий микроклимат на прилегающей территории; санитарно-гигиеническое и фитоценотическое состояние придорожных полос, обусловленное интенсивностью замусоривания, реализацией озеленительных мероприятий; химическое загрязнение почвенного покрова с нарушением его важнейших биосферных функций; гибель и увечье диких и домашних животных, пересекающих автомагистраль, и др.

Серьезной проблемой является низкая эффективность мероприятий, которые призваны не допустить загрязнение природных вод сточными (преимущественно ливневыми) водами, поступающими с автодорог, мостовых сооружений и прилегающих к ним территорий. По данным ФАУ «РОСДОРНИИ» [8], на российских федеральных дорогах существует более 600 очистных сооружений, различающихся конструктивными решениями, эксплуатационными характеристиками, эффективностью. Среди них преобладают каскадные пруды-отстойники и гидробиологические площадки. Второе место занимают отстойники (бетонные, пластиковые, металлические), выполняющие задачу удаления грубо- и мелкодисперсных частиц (илистых осадков) и частично всплывающих нефтепродуктов. Доля высокотехнологичного оборудования с механической и физико-химической фильтрацией значительно ниже (около 30 %). Выполненные РОСДОРНИИ расчеты [8] позволили сделать вывод, что даже при исправной работе действующих очистных сооружений объем обработанных сточных вод с автодорог, находящихся в водоохраных зонах, составляет только 2,6 % от необходимого. Частично задача может быть решена путем повышения требований к проектированию и содержанию дороги (учет ландшафтных и гидрологических особенностей местности, близости к рыбохозяйственным водоемам и рекреационным объектам, своевременное восстановление нарушенного дорожного покрытия и др.), а также путем ужесточения контроля за техническим состоянием транспортных средств как источников загрязнения (утечки топлива и масел, загрязнители с колес и т. п.).

Автор работы [8] делает справедливые выводы о том, что необходимо на уровне федерального законодательства ввести понятие «экологические требования к линейным инженерным сооружениям» и учитывать специфику последних в экологических расчетах; ужесточить проведение ОВОС в рамках экологической экспертизы в отношении проектирования автотрассы; ввести в Водный кодекс РФ пункт, касающийся гармонизации требований к очистке загрязненного стока в зависимости от технической категории автомобильной дороги; установить на уровне Федерального дорожного агентства требования к проектированию и эксплуатации простых и эффективных очистных сооружений разных (в зависимости от конкретных дорожных условий) типов.

Борьба с зимней скользкостью, снижая показатель аварийности, одновременно имеет своим следствием накопление загрязнителей – противогололедных материалов (и продуктов их химического, физико-химического, фотохимического и биохимического превращения) на придорожной полосе.

Эксплуатационно-потребительские свойства автомобильной дороги имеют общие черты в разных странах, однако несут в себе и региональный оттенок, что проявляется как следствие различий в природно-климатических, геологических, социально-экономических, историко-культурных условиях.

На схеме (рис. 2) обобщены современные общественные требования, предъявляемые к качеству дорожно-транспортной инфраструктуры со стороны профессиональных водителей и автомобилистов, использующих личный транспорт, а также пассажиров. Эти требования формируются и видоизменяются по мере повышения интереса населения к росту уровня качества жизни, внимания к требованиям комфортных и безопасных условий перевозок.

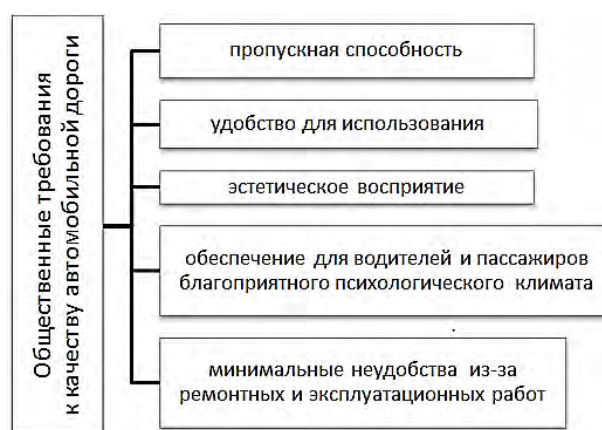


Рис. 2. Подсистема требований к качеству автомобильных дорог со стороны потребителей
 Fig. 2. Subsystem of consumer requirements for the road quality

Таким образом, очевидно, что экологические и общественные требования, с одной стороны, дополняют друг друга, с другой – вступают в противоречия. Так, уменьшение пропускной способности дороги (например, при ремонтных работах) приводит к повышению загазованности и замусоривания обочин пластиковой посудой и тарой. Строительство остановочных площадок и обустройство придорожных мест отдыха, питания, душевых и туалетных комнат без одновременной организации своевременного вывоза и утилизации сопровождающих отходов оборачивается ростом негативного антропогенного воздействия на участки природной среды.

Удобство и комфорт для пассажиров могут вступать в конфликт с техническими и технологическими условиями, обеспечивающими экологическую безопасность, в связи с необходимостью повышения материальных затрат на строительство, эксплуатацию, ремонт, модернизацию автомобильной дороги.

Круг аргументов, свидетельствующих о сложном системном характере концепта «качество дорожно-транспортной инфраструктуры», намного шире.

Анализ опубликованных работ по рассматриваемой проблематике позволил выявить несколько направлений исследований, в которых рассматриваются взаимосвязи качества и безопасности дорожной инфраструктуры с качеством проектирования дороги [9, 10, 11, 12, 13], эффективностью технического контроля [3, 14], соответствием нормативно-правовой базы строительства современным реалиям [15], инновациям в ресурсосбережении и техносферной безопасности [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Ниже более детально рассмотрены только некоторые из работ, поскольку обстоятельные анализ и обобщение изученных материалов не вписываются в формат журнальной публикации.

Организационно-нормативное обеспечение экологической безопасности

Организационно-нормативное обеспечение экологической безопасности носит, на наш взгляд, не деятельностный, а информационный и рекомендательный характер. Поэтому, несмотря на внимание властных структур к реализации

Транспортной стратегии России с горизонтом планирования до 2030 г., положительные ее результаты ограничиваются тысячами километров нового дорожного полотна и миллиардами освоенных денежных средств, в то время как экологический ущерб накапливается для будущих поколений. Устойчивых тенденций в отношении повышения экологической безопасности дорожно-транспортного сектора экономики не наблюдается: по остаточному принципу проводятся ландшафтные работы, рекультивация земель, озеленение придорожных территорий, снижение пылеобразования на дорогах с жестким покрытием, шумовая защита, работы по отведению ливневых стоков с придорожной территории и их очистке.

Необходимо усиление роли контрольно-надзорных функций в субъектах дорожно-транспортной деятельности.

Реализация в стране нацпроекта «Безопасные и качественные дороги», сопровождающаяся значительными финансовыми вливаниями, имеет положительные результаты как в объемах строительных работ, так и в отношении снижения числа дорожно-транспортных происшествий.

По данным сайта ГИБДД РФ (stat.gibdd.ru), в 2022 г. число ДТП на дорогах общего пользования составило 126 705 случаев, погибло 14 172, ранено 159 635 человек. Это меньше, чем в предыдущие (2021 и 2020) годы (133 331 и 145 073 случая соответственно), однако немало. Статистические данные показывают, что тремя основными причинами гибели людей являются выезд на встречную полосу, наезд на пешехода, вождение в состоянии опьянения¹.

Вопрос о влиянии качества содержания автодорог на количество ДТП мало исследован специалистами, однако в СМИ, особенно в интернет-сфере, обсуждается достаточно активно. Рассматриваются юридические стороны этого вопроса для аварийных ситуаций, когда из-за дефектов дорожного покрытия (ямы), плохой видимости в поворотах, гололеда, скопления ливневых вод, недостаточной освещенности, отсутствия заграждений и других причин страдают люди, транспортные сооружения, автомобили.

На основании анализа отчетов о причинах аварийности в разных странах зарубежные ученые пришли к выводу, что 30 % случаев приходится на ошибки, допущенные при проектировании дорог и связанные с несовершенством норм проектирования дорог [13]. Для России подобные сведения в открытой печати отсутствуют, однако отмечается острая необходимость разработки и принятия новых норм проектирования автомобильных дорог, основанных на современных концептуальных подходах, что позволит при незначительных финансовых затратах значительно сократить уровень аварийности [13].

В какой степени ошибки в проектировании, нарушения при строительстве и халатность при эксплуатации автомобильных дорог влияют на число и тяжесть последствий ДТП? Значимость ответа на этот вопрос в последние годы инициирует обсуждения специалистов на производственных совещаниях и научно-практических конференциях разного уровня².

¹ С начала года на российских дорогах погибли 14 тысяч человек – это много или мало? // Реальное время: интернет-газета. URL: <https://realnoevremya.ru/news/269257-v-2022-godu-na-dorogah-rossii-pogibli-14-tysyach-chelovek>

² Ошибки при проектировании автодорог: их цена и последствия // ДорИнфо. URL: https://dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=108358

Заместитель гендиректора ООО «Автобан» Н. Савенкова отмечает, что рост количества проектов, их сложность (комплексные проекты стали объединять в себе и новое строительство, и реконструкцию или капремонт уже существующих зданий) снижают рентабельность производства. «Чем крупнее и важнее проект, тем сложнее его возведение, а значит, и выше цена ошибок и просчетов, когда готовая проектная документация имеет серьезные ошибки и противоречия»³. Указывается, что «часто такое происходит при инженерно-геологических изысканиях и в сметных расчетах». Самые частые ошибки при проектировании дорог – «неправильная оценка пригодности грунтов основания и выемки; указание и расчет на карьеры каменных материалов, которые уже не действуют; неправильная оценка дальности транспортировки материалов на объект; неправильное указание на полигоны для утилизации строительных отходов»⁴.

Проблемы обеспечения качества и безопасности автодорог

В наиболее обобщенном виде трудности, влияющие на обеспечение качества и безопасности автодороги, можно представить совокупностью факторов: рост интенсивности и скорости дорожного движения; увеличение числа ДТП; повышение осевых нагрузок; рост структурных, эксплуатационных, ремонтных затрат; повышение требований потребителей к благоустройству; увеличение стоимости и сложности технического оснащения строительства, реконструкции, эксплуатации дорожной инфраструктуры.

В табл. 1 показана суть и предложены пути преодоления некоторых проблем экологической безопасности в России, проявляющих себя на федеральном и региональном уровнях.

Таблица 1

Актуальные проблемы экологической безопасности автомобильных дорог

Table 1

Relevant problems of road environmental safety

Выявленная проблема	Суть проблемы, причины и последствия	Пути решения проблемы
1. Рост стоимости строительства автодороги, особенно в азиатской части России	Короткий теплый период, требующий сжатых сроков строительства; сложность проведения земельных работ из-за продолжительных неблагоприятных погодных условий; высокая стоимость доставки строительных материалов	Изменить федеральную систему финансирования строительства, основанную на конкурсной основе, которая тормозит согласование документов и принятие своевременных решений по финансированию и закупкам, сдвигает сроки работ, не позволяет вовремя их завершать

³ Ошибки при проектировании автодорог: их цена и последствия // ДорИнфо. URL: https://dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=108358.

⁴ Там же.

Продолжение табл. 1
Continuation

Выявленная проблема	Суть проблемы, причины и последствия	Пути решения проблемы
2. Несовершенная система выделения земельных участков под строительство	На выкуп земли из сметной стоимости часто тратятся финансовые средства, превышающие другие статьи расходов. Высокая цена строительства вынуждает заказчиков и исполнителей экономить на строительных материалах и технологиях	Использовать зарубежную практику, когда уже на стадии проектирования государство обеспечивает строителям участок, отведенный под дорогу, сопутствующие коммуникации и сооружения
3. Трудность использования для передвижения бесхозных дорог вблизи «умирающих» поселений, где отсутствуют муниципальные структуры	Плохая доступность тракторов, автомашин, комбайнов к сохранившимся сельхозугодьям; отсутствие служб, обеспечивающих безопасность транспорта, пешеходов, животных. Риски связаны с плохой видимостью дорожных знаков, ограниченным обзором на поворотах, выходом диких животных на проезжую часть	Устранить нормативно-правовые противоречия, например, ввести запрет на уничтожение древесной и кустарниковой растительности в пределах полосы отвода и придорожных полос, если это касается заброшенных дорожных участков
4. Юридическая коллизия: региональный оператор не может обеспечить сбор и вывоз ТКО в отсутствие мест накопления (госконтрактами эти функции возложены на Компанию – ДРСУ). Неясно, может ли ДРСУ собирать и транспортировать (в рамках лицензии) ТКО самостоятельно и передавать на существующие пункты приема ТКО (полигоны), при этом производить оплату региональному оператору	На ДРСУ, по законодательству РФ, возложено выполнение работ по содержанию автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения и сооружений на них, включая комплекс работ по обращению с отходами производства и потребления, образующимися при работах на объектах. Компания выступает собственником и оператором отхода «мусор и смет уличный» (ТКО) и обязана заключить договор на оказание услуг по обращению с ТКО с региональным оператором, в зоне деятельности которого образуются ТКО и находятся места их накопления. Однако, по ФЗ № 89 «Об отходах...» (ст. 13.4.), накопление ТКО допускается только в местах (на площадках) накопления отходов, соответствующих требованиям законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия	Необходимо более четко определить категорию отходов от уборки полосы отвода и придорожной полосы дорог и порядок их передачи на полигоны, обезвреживание или переработку

Окончание табл. 1
End of table

Выявленная проблема	Суть проблемы, причины и последствия	Пути решения проблемы
5. Ненадлежащее состояние ливневой канализации: в период весеннего снеготаяния, во время обильных дождей дороги и тротуары в городах наполняются потоками воды	Причины неудовлетворительной работы водоотводных и дренажных сооружений (ВиДС): ошибки при проектировании (например, по причине экономии средств при инженерных изысканиях) изменение рельефа в течение длительного времени эксплуатации объекта кольматация дренажных материалов разрушение элементов ВиДС при эксплуатации (коррозия арматуры, разрушение бордюрных блоков, прикромочных лотков и т. д.) искажение двускатного и односкатного поперечного профиля при некачественном ремонте участков АД отсутствие (разрушение) кюветов, нагорных и продольных водоотводных каналов	Выделение адекватного финансирования на приобретение, изготовление, содержание ливневых лотков, смотровых колодцев,ждеприемников, песколовков, коллекторов, канализационных труб для сложной системы ливневой канализации. Строгий контроль за выполнением требований СТО НОСТРОЙ 2.25.103-2013 по устройству поверхностного водоотвода в условиях города и внегородских дорог, дренажных систем на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях
6. Процессы эрозии и заболачивания, изменение микроклимата, проявление подвижек земляных масс; изменение эстетической и культурной ценности ландшафта	Возникновение и развитие гидрологически обусловленных изменений в результате строительства или функционирования дорожно-транспортных объектов	Сохранение (высадка) растительности, укрепление откосов, предупреждение подтопления лесонасаждений, строительство и содержание водопропускных сооружений в надлежащем состоянии
7. Повышение аварийности и травматизма в холодное время года; загрязнение придорожной полосы	Несвоевременная работа снегоуборочной техники; накопление снега с противогололедными материалами (ПГМ) на снегоотвалах	Контроль за соответствием ПГМ требованиям ГОСТ Р 59201. Создание новых экологически чистых противогололедных средств и разработка методик оценки экологической безопасности различных технологий борьбы с зимней скользкостью

**Инновации дорожно-строительной отрасли,
повышающие качество и безопасность автомобильных дорог**

Инновационная деятельность предполагает создание новых и совершенствование уже существующих технологий и материалов.

Среди большого числа публикаций, посвященных разработкам новых дорожно-строительных материалов, в том числе с возможностью утилизации промышленных отходов, выделяется статья И. Вольфа «"Недоинновационная" дорожная отрасль, или В России опять строят незнамо что» в отраслевом журнале «Строительство» (№ 8, 2021 г.)⁵. Автор публикации, ссылаясь на отчет Счетной палаты, утверждает что «новые технологии – по факту старые», что новшества практически не внедряются в реальную практику дорожного строительства, а «закупки делаются с крупными нарушениями». Отмечается, что «цементобетонные дороги, проявляющие более высокую эффективность (долговечность, ремонтпригодность) не строятся, а основная деятельность по поиску инноваций направлена на разработку стандартов».

Особое внимание обращается на то, что многочисленные разработанные в Росавтодоре рекомендации «не содержат определений новых технологий и материалов, а также критериев отнесения их к новым, в результате фактически не используются... отсутствует единый документ стратегического планирования». Согласимся с автором, что в нормативных документах для транспортного строительства термины «новые технологии», «новые технологические решения (конструкции)» и «новые материалы» должны иметь однозначную трактовку, быть закреплены на федеральном уровне, что обеспечит для разработчиков и исполнителей среду, благоприятную для инновационной деятельности.

В табл. 2 на основе анализа и обобщения научных работ, освещающих результаты исследований в области эколого ориентированного дорожно-транспортного материаловедения и строительства, выделены приоритетные научно-практические направления.

Таблица 2

**Направления и примеры эколого ориентированных инноваций
в дорожном строительстве**

Table 2

**Directions and examples of environmentally orientated innovations
in road construction**

Научное направление инновации	Характеристика новшеств	Литературные источники
Повышение устойчивости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд физическими методами и способами	Обработка (механическая, электроимпульсная и проч.)	23

⁵ Агентство новостей «Строительный бизнес». URL: <http://ancb.ru/publication/read/11725>

Окончание табл. 2
End of table

Научное направление инновации	Характеристика новшеств	Литературные источники
Повышение устойчивости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд химическими методами	Модифицирование дорожных битумов (наноструктурирование, полимерные модификаторы и др.)	16, 22, 24–27
Применение технологий дисперсного армирования (комбинированное воздействие на свойства дорожной одежды)	Получение прочных, долговечных фиброасфальтобетона и фиброцементобетона армированием: минеральными волокнами (стекловолокно, металл, фибры из каменных материалов) синтетическими полимерными волокнами (резина, полиэтилен, полипропилен, ПЭТ) древесными волокнами	28–30 19, 31 32 18, 20, 33–35
Использование в качестве добавок к сырью отходов предпочтительно местных промышленных предприятий	Использование кубовых остатков химической отрасли Замена природных каменных материалов для верхнего и нижнего слоев покрытий АД на отходы камнедробления Применение отходов пластмасс вместо дорогостоящих полимерных модификаторов Использование рециклирата (крошки из старого асфальтобетона)	36 36–38 39, 40
Использование отходов, не содержащих канцерогенных веществ и радионуклидов, в основаниях дорожной одежды	Использование местных техногенных материалов и грунтов при устройстве земляного полотна автодорог и грунтовых оснований аэродромов	17, 38, 41

Предложенные в таблице направления инноваций нельзя рассматривать как единственно правильные, т. к. они тесно связаны и пересекаются. Так, механическая активация при подготовке сухих минеральных смесей сопровождается сложными физико-химическими взаимодействиями; химическое модифицирование органических вяжущих может происходить при использовании отходов (например, в композиционных битумно-полимерных материалах) и т. п.

Улучшение показателей физико-механических и реологических свойств асфальтобетонов из смесей, дисперсно-армированных химическими волокнами

Улучшение показателей свойств армированного асфальтобетона происходит за счет протекания сложных процессов.

Отличительной особенностью разработанного В.Н. Лукашевичем с соавторами способа дисперсного армирования асфальтобетонной смеси (патент РФ 2102353) является «решение задачи снижения затрат на приготовление асфальтобетонных смесей для улучшения прочностных, сдвиговых характеристик и трещиностойкости покрытия путем введения в АБС синтетических волокон горячими, сразу после их формирования из расплава» (рис. 3).

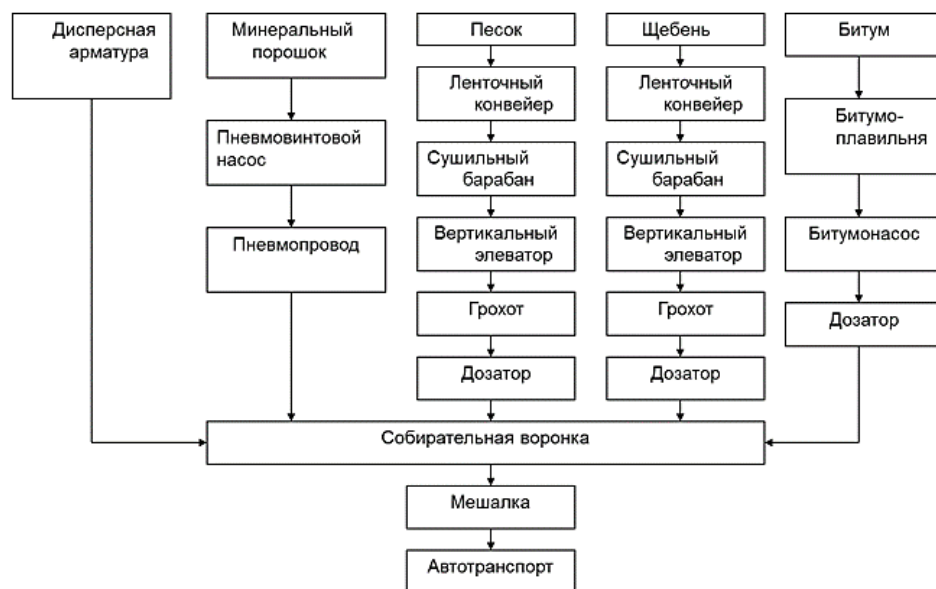


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема приготовления асфальтобетонных смесей, армированных дискретным методом

Fig. 3. Process flow diagram of preparation of asphalt concrete mixes reinforced by using a discrete method

Экспериментально установлено, что введение в асфальтобетонную смесь дисперсной арматуры в пределах 1 % от массы минеральной части повышает прочность асфальтобетона при сдвиге на 25–30 % при температуре 50 °С, прочность при растяжении при отрицательных температурах – на 40–80 %.

Дисперсное армирование улучшает деформируемость (до 90–200 %) при температурах ниже нуля, коррозионную устойчивость; снижает усталостную прочность (до 200–500 %), незначительно повышает водостойкость.

Опытно-производственное строительство и 5-летнее наблюдение за экспериментальным участком (Республика Алтай, Тогучаковский район) показали эффективность применения дисперсной арматуры для устройства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Срок службы между ремонтами увеличился в 2 раза по сравнению с ранее наблюдавшимися сроками при тех же условиях эксплуатации дорожного участка.

Заключение

Качество и экологическая безопасность автомобильных дорог тесно связаны между собой через проявление условий и результата устойчивого

развития дорожно-транспортной инфраструктуры в виде баланса экологических, экономических, социальных интересов общества.

В связи с этим появляется необходимость использовать при проектировании дорожных и инфраструктурных объектов инновационных решений, направленных на снижение расхода материалов, энергии, труда на проведение строительства, модернизации, ремонтных и эксплуатационных работ, увеличение безремонтных сроков службы объектов.

Вслед за авторами работы [10] отметим, что главные мероприятия, обеспечивающие снижение негативного воздействия технических средств на человека и природную среду при строительстве и реконструкции автомобильной дороги, сводятся к повышению эффективности очистки сточных вод; обеспечению минимизации химического загрязнения; усилению работы контролирующих органов.

Добавим к этому борьбу с физическим загрязнением (шумовым, вибрационным, тепловым), переход на новый уровень мониторинга состояния окружающей среды, организационно-природоохранные инновации (например, развитие системных взаимодействий между организациями по цепочкам управления для предотвращения губительного влияния на природную среду всех этапов жизненного цикла автомобильной дороги).

Резюмируя сказанное и оценивая сегодняшнюю российскую ситуацию, следует признать, что только огромные средства и воля (а не желание, выраженное декларативно) со стороны государства и бизнес-сообщества необходимы для решения десятилетиями накопленных проблем дорожного сектора.

С целью выполнения этой работы перспективными являются следующие направления развития дорожно-транспортного строительства:

- повышение качества проектирования дорог;
- обеспечение эффективного производственно-технического и экологического контроля;
- совершенствование нормативной базы строительства для соответствия ее современным требованиям (техническим, экологическим) с переходом от рекомендательного уровня к обязательному для выполнения;
- стимулирование государством инноваций в области ресурсосбережения и техносферной безопасности.

Материалы статьи могут быть полезны специалистам в области транспортного строительства, строительной экологии, работникам муниципалитетов, преподавателям, магистрантам, студентам направлений подготовки «Строительство», «Экология и природопользование» и «Экономика». В дальнейших исследованиях авторы планируют рассмотреть концепт «Зеленая дорожно-строительная инфраструктура» и стратегический подход к решению экологических и социальных последствий роста дорожного строительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лукашевич О.Д., Лукашевич В.Н. Пути повышения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 200–210. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210

2. Лим Т.Е. Научно-методические основы гигиенической оценки влияния объездных и транзитных автомобильных дорог на окружающую среду и здоровье : специальность 14.02.01 : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Санкт-Петербург, 2014. 270 с.
3. Wu P., Xia B., Zhao X., Pienaar J. Defining Green Road Infrastructure Projects – A Critical Review // Proceedings of the 19th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015. P. 125–134. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-46994-1_11
4. Апталаев М.Н., Жалко М.Е. Влияние водно-теплого режима основания автомобильной дороги на состояние дорожной одежды // Транспортные сооружения : интернет-журнал. 2016. Т. 3. № 4. DOI: 10.15862/02TS416
5. Zapata P., Gambatese J.A. Energy consumption of asphalt and reinforced concrete pavement materials and construction // J. Infrastruct. Syst. 2005. № 11. P. 9–20.
6. Carpenter A.C., Gardner K.H., Fopian J., Benson C.H., Edil T.B. Life cycle based risk assessment of recycled materials in roadway construction // Waste Management. 2007. № 27. P. 1458–1464.
7. Kim S.B., Kwak H.J. A benchmarking study on green roads certification policies using case studies // J. Korean Soc. Civl. Engr. 2013. № 33. P. 1173–1180.
8. Бобков А.В. Почему малоэффективны очистные сооружения? // Автомобильные дороги. 2015. Вып. 1. С. 84–91.
9. Бершадский В.Я. Требования экологической безопасности при проектировании транспортно-дорожных комплексов. Ч. II. Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза проектов. Екатеринбург : Изд-во Ур-ГУПС, 2013. 257 с.
10. Дормидонтова Т.В., Солкарян Н.Г. Влияние показателей транспортных и внетранспортных эффектов на экологическую ситуацию // Природоохранные и гидротехнические сооружения: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов : материалы Междунар. науч.-технич. конф. Самара, 2014. С. 248–254.
11. Дормидонтова Т.В., Филатова А.В. Анализ методов проектирования автомобильных дорог // Научное обозрение. 2015. № 7. С. 24–28.
12. Каменчуков А.В., Ярмолинский В.А., Кривко Е.В. Влияние исходной информации на качество проектирования строительства и ремонта автомобильных дорог. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 180 с.
13. Николаева Р.В., Галилов Т.И. Обеспечения безопасности дорожного движения на стадии проектирования автомобильных дорог // Техника и технология транспорта. 2019. № 1 (10). С. 8. URL: <http://transportkgasu.ru/files/N10-08BDD119.pdf>
14. Jae-Woo Park, Yong Han Ahn. Development of a green road rating system for South Korea // International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. 2015. V. 6. № 4. P. 249–263, DOI: 10.1080/2093761X.2015.1117404
15. Кретов В.В. Административно-правовое регулирование дорожного хозяйства Российской Федерации: состояние, проблемы, перспективы развития : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата юридических наук. Тюмень, 2015. 26 с.
16. Евдокимова Н.Г., Лунева Н.Н. О направлениях использования добавок различной природы для модифицирования свойств битумов // Башкирский химический журнал. 2016. Т. 23. № 4. С. 49–62.
17. Modarres A. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes // Materials and Design. 2014. № 61. P. 8–15.
18. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Фролов В.А. Решение проблемы утилизации отходов резинотехнических изделий путем модификации дорожных вяжущих // Вестник ВГУИТ. 2014. № 2. С. 129–131.
19. Могнонов Д.М., Аюрова О.Ж., Ильина О.В., Шестаков Н.И., Мангутов А.Н., Буянтубеков С.Л., Битиев А.В. Улучшение деформационно-прочностных свойств асфальтобетона базальтовыми волокнами // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 28–31.
20. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Полушкин Д.Л. и др. Модификация дорожного битума термоэластопластом ДСТ совместно с полиэтиленом // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2012. № 39. С. 184–189.

21. Буренин О.Н., Николаев Л.А., Копылов В.Е. Разработка модифицированных асфальтобетонных смесей для строительства автомобильных дорог в условиях Севера // Дороги и мосты. 2013. Т. 1. № 29. С. 205–211.
22. Тюкилина П.М., Поздняков В.В., Андреев А.А. и др. Комплексная физико-химическая модификация нефтяных дорожных битумов // Башкирский химический журнал. 2021. Т. 28. № 4. С. 44–55.
23. Ковалев Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов. Москва : Изд-во НИЦ ИНФРА-М, 2017. 285 с.
24. Нехорошев В.П., Нехорошев С.В., Нехорошева А.В., Тарасова О.И. Химическое модифицирование дорожных битумов атактическим полипропиленом // Нефтехимия. 2017. Т. 57. № 4. С. 380–385.
25. Евдокимова Н.Г., Егорова Н.А., Султанова Д.П., Кунаккулова Э.М., Серезжкина Н.Г. Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом подбора группового химического состава // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2019. Т. 11. № 5. С. 512–525.
26. Антонов С.А., Поздняков В.В., Фалина О.С., Матвеева А.И. и др. Оценка возможности получения окисленных дорожных битумов различных марок из гудронов тяжелой нефтено-ароматической нефти // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2023. № 1. С. 3–8.
27. Jahromi S.G. Effect of carbon nanofiber on mechanical behavior of asphalt concrete // International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology. 2015. № 6 (2). P. 57–66.
28. Чернов С.А., Каклюгин А.В., Никитина А.Н., Голубин К.Д. Влияние полимерно-дисперсно-армирующей добавки на эксплуатационные свойства асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2017. Вып. 12. № 6 (105). С. 654–660. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.654-660
29. Пантелеев Д.А. Деформативные и прочностные характеристики полиармированного фибробетона // Известия КГАСУ. 2015. № 3 (33). С. 133–139.
30. Putman B.J. Effects of Fiber Finish on the Performance of Asphalt Binders and Mastics // Advances in Civil Engineering. 2011. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1155/2011/172634> (дата обращения: 02.06.2023).
31. Магдеев У.Х., Пухаренко Ю.В., Морозов В.И., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Исследование свойств сталефибробетона на основе аморфной металлической фибры // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31 (50). С. 132–135.
32. Николаева Л.А. Дорожный асфальтобетон на основе отходов базальтового волокна // Перспективы развития науки в современном мире : сб. статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции. 2018. С. 70–73.
33. Голиков И.В., Игнатьев А.А., Готовцев В.М., Калашян А.Р. Особенности модификации дорожного битума полиэтилентерефталатом // Дороги и мосты : сб. статей. Москва : РосдорНИИ, 2019. Вып. 42/2. С. 192–202.
34. Полякова С.В. Дисперсно-армированный асфальтобетон с применением синтетических волокон // Дороги и мосты. 2012. № 2 (28). С. 247–260.
35. Минхаирова А.И., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Аюпов Д.А. и др. Модификация дорожных битумов смесевыми термоэластопластами // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 17. С. 120–122.
36. Салихов М.Г., Малянова Л.И., Веюков Е.В., Вайнштейн В.М. Оценка сравнительной долговечности модифицированных асфальтобетонов с отходами дробления известняка методом искусственного старения при высокой температуре // Строительные материалы. 2020. № 4–5. С. 75–79. URL: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-75-79>
37. Солдатов А.А., Субботин А.Е., Цуканов Н.Н. Опыт применения некондиционных порошкообразных материалов и техногенных отходов промышленности в качестве минерального порошка для дорожных асфальтобетонов // Научно-практические исследования. 2019. № 7-4 (22). С. 88–90.
38. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Сидорович А.С. Местные материалы и отходы промышленности, используемые для строительства оснований автомобильных дорог // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения : сб. статей V Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. Пенза : Наука и просвещение, 2017. С. 57–60.

39. Chakraborty A., Mehta S. Utilization & Minimization of Waste Plastic in Construction of Pavement: a Review // International Journal of Engineering Technology Science and Research. 2017. № 4 (8). P. 2394–3386.
40. Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Peralta J., Oliveira J.R.M. Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – Performance and morphological assessment // Construction and Building Materials. 2019. № 198. P. 237–244.
41. Соловьева В.Я., Сахарова А.С., Еремеев Е.Г. Инновационные способы подготовки основания транспортных магистралей с использованием техногенных образований металлургического производства // Инновационные транспортные системы и технологии. 2022. Т. 8. № 2. С. 28–42. DOI: 10.17816/transsyst20228228-42

REFERENCES

1. Lukashevich O.D., Lukashevich V.N. Improvement of environmental safety in construction and road service. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020; 22 (5): 200–210. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210 (In Russian)
2. Lim T.E. Scientific and methodological basis for hygienic assessment of the impact of bypass and transit motorways on the environment and health. DSc Thesis. Saint-Petersburg, 2014. 270 p. (In Russian)
3. Wu P., Xia B., Zhao X., Pienaar J. Defining green road infrastructure projects – A critical review. In: *Proc. 19th Int. Symp. on Advancement of Construction Management and Real Estate*. Berlin: Springer, 2015 Pp. 125–134. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46994-1_11
4. Aptalaev M.N., Zhalko M.E. Influence of water and heat regime of subgrade on pavement. *Transportnye sooruzheniya*. 2016; 3(4). DOI: 10.15862/02TS416. Available: <http://t-s.today/PDF/02TS416.pdf> (In Russian)
5. Zapata P., Gambatese J.A. Energy consumption of asphalt and reinforced concrete pavement materials and construction. *Journal of Infrastructure Systems*. 2005; (11): 9–20. (In Russian)
6. Carpenter A.C., Gardner K.H., Fopian J., Benson C.H., Edil T.B. Life cycle based risk assessment of recycled materials in roadway construction. *Waste Management*. 2007; 27: 1458–1464.
7. Kim S.B., Kwak H.J. A benchmarking study on green roads certification policies using case studies. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 2013; 33: 1173–1180.
8. Bobkov A.V. Why wastewater treatment plants are inefficient? *Avtomobil'nye dorogi*. 2015; (1): 45–49. (In Russian)
9. Bershadskij V.Ya. Environmental safety requirements for design of transport and road complexes. Part II: Environmental impact assessment and environmental expertise of projects. Ekaterinburg, 2013. 257 p. (In Russian)
10. Dormidontova T.V., Solkaryan N.G. Influence of transport and non-transport effect indicators on the environment. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Environmental and Hydraulic Structures: Problems of Construction, Operation, Ecology and Specialist Training'*. Samara, 2014. Pp. 248–254. (In Russian)
11. Dormidontova T.V., Filatova A.V. Analysis of road design methods. *Nauchnoe obozrenie*. 2015; (7): 24–28. (In Russian)
12. Kamenchukov A.V., Yarmolinskii V.A., Krivko E.V. Influence of baseline information on design quality of road construction and repair. Khabarovsk, 2016. 180 p. (In Russian)
13. Nikolaeva R.V., Talipov T.I. Ensuring road safety at the road design stage. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. 2019; 1 (10): 8. Available: <http://transportkgasu.ru/files/N10-08BDD119.pdf> (In Russian)
14. Jae-Woo Park, Yong Han Ahn. Development of a green road rating system for South Korea. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2015; 6 (4): 249–263. DOI: 10.1080/2093761X.2015.1117404
15. Kretov V.V. Administrative and legal regulation of the road sector in the Russian Federation: Status, problems, development prospects. PhD Abstract. Tyumen. 2015. 26 p. (In Russian)
16. Evdokimova N.G., Luneva N.N. Different additives for modification of bitumen properties. *Bashkirskij khimicheskij zhurnal*. 2016; 23 (4): 49–62. (In Russian)

17. Modarres A. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes. *Materials and Design*. 2014; (61): 8–15. (In Russian)
18. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Frolov V.A. Solving the problem of utilisation of waste rubber products by road binder modification. *Vestnik VGUIT*. 2014; (2): 129–131. (In Russian)
19. Mogonov D.M., Ayurova O.Zh., Il'ina O.V., Shestakov N.I., Mangutov A.N., Buyantuev S.L., Bituev A.V. Improvement of deformation and strength properties of asphalt concrete with basalt fiber. *Stroitel'nye materialy*. 2012; (10): 28–31. (In Russian)
20. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., et al. Modification of road bitumen with thermoelastoplast and polyethylene. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki*. 2012; (39): 184–189. (In Russian)
21. Burenin O.N., Nikolaev L.A., Kopylov V.E. Development of modified asphalt-concrete mixes for road construction in Northern conditions. *Dorogi i mosty*. 2013; 1(29): 205–211. (In Russian)
22. Tyukilina P.M., Pozdnyakov V.V., Andreev A.A., et al. Physicochemical modification of petroleum road bitumen. *Bashkirskij khimicheskii zhurnal*. 2021; 28 (4): 44–55. (In Russian)
23. Kovalev Ya.N. Physicochemical fundamentals of building materials technology. Moscow: NITS INFRA-M, 2017. 285 p. (In Russian)
24. Nekhoroshev V.P., Nekhoroshev S.V., Nekhorosheva A.V., Tarasova O.I. Chemical modification of road bitumen with atactic polypropylene. *Neftekhimiya*. 2017; 57(4): 380–385. (In Russian)
25. Evdokimova N.G., Egorova N.A., Sultanova D.P., Kunakulova E.M., Serezhkina N.G. Sol-gel nanostructure formation of road bitumen based on selection of chemical composition. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2019; 11 (5): 512–525. (In Russian)
26. Antonov S.A., Pozdnyakov V.V., Falina O.S., Matveeva A.I., et al. Possibility assessment of oxidized road bitumen production from heavy naphthenic-aromatic oil tar sand. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt*. 2023; (1): 3–8. (In Russian)
27. Jahromi S.G. Effect of carbon nanofiber on mechanical behavior of asphalt concrete. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 2015; 6 (2): 57–66. (In Russian)
28. Chernov S.A., Kaklyugin A.V., Nikitina A.N., Golyubin K.D. Influence of polymer-disperse reinforcing additive on asphalt concrete properties. *Vestnik MGSU*. 2017; 12 (6 (105)): 654–660. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.654-660 (In Russian)
29. Panteleev D.A. Deformation and strength characteristics of fibrous concrete. *Izvestiya KGASU*. 2015; 3 (33): 133–139. (In Russian)
30. Putman B.J. Effects of fiber finish on the performance of asphalt binders and mastics. *Advances in Civil Engineering*. 2011; 1–11. <https://doi.org/10.1155/2011/172634>
31. Magdeev U.Kh., Pukharensko Yu.V., Morozov V.I., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Properties of steel concrete based on amorphous metal fiber. *Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013; 31 (50): 132–135. (In Russian)
32. Nikolaeva L.A. Asphalt concrete based on basalt fiber waste. In: *Proc. 13th Int. Sci. Conf. 'Prospects of Science Development in the Modern World'*. 2018. Pp. 70–73. (In Russian)
33. Golikov I.V., Ignat'ev A.A., Gotovtsev V.M., Kalashyan A.R. Road bitumen modification by polyethylene terephthalate. *Dorogi i mosty*. 2019; 42 (2): 192–202. (In Russian)
34. Polyakova S.V. Dispersed asphalt concrete reinforced by synthetic fiber. *Dorogi i mosty*. 2012; 2 (28): 247–260. (In Russian)
35. Minkhairova A.I., Zakirova L.Yu., Vol'fon I.S., Ayupov D.A., et al. Modification of road bitumen by blended thermoplastic elastomers. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012; 15 (17): 120–122. (In Russian)
36. Salikhov M.G., Mal'yanova L.I., Veyukov E.V., Vajnshteyn V.M. Assessment of comparative durability of asphalt concrete with limestone crushing wastes modified by artificial ageing at high temperature. *Stroitel'nye materialy*. 2020; (4–5): 75–79. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-75-79> (In Russian)
37. Soldatov A.A., Subbotin A.E., Tsukanov N.N. Experience in using substandard powdered materials and industrial waste as mineral powder for road asphalt concrete. *Nauchno-prakticheskie issledovaniya*. 2019; 7-4 (22): 88–90. (In Russian)
38. Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Sidorovich A.S. Local materials and industrial waste for road base construction. In: *Proc. 5th Int. Sci. Conf. 'Science and Innovations in the 21st*

- Century: Relevant Problems, Discoveries and Achievements', Pt. 1. Penza, 2017. Pp. 57–60. (In Russian)
39. Chakraborty A., Mehta S. Utilization and minimization of waste plastic in construction of pavement: A review. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*. 2017; 4 (8): 2394–3386.
40. Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Peralta J., Oliveira J.R.M. Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – Performance and morphological assessment. *Construction and Building Materials*. 2019; 198: 237–244.
41. Solov'eva V.Ya., Sakharova A.S., Ereemeev E.G. Innovative ways of subgrade preparation using metallurgy waste. *Innovatsionnye transportnye sistemy i tekhnologii*. 2022; 8 (2): 28–42. DOI: 10.17816/transsyst20228228-42 (In Russian)

Сведения об авторах

Лукашевич Виктор Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vnuc@yandex.ru

Лукашевич Ольга Дмитриевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, odluk@yandex.ru.

Authors Details

Viktor N. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, vnuc@yandex.ru

Olga D. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, odluk@yandex.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.08.2023
Одобрена после рецензирования 19.09.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 01.08.2023
Approved after review 19.09.2023
Accepted for publication 21.09.2023