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

УДК 625.7:502/504 DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210

О.Д. ЛУКАШЕВИЧ, В.Н. ЛУКАШЕВИЧ, Томский государственный архитектурно-строительный университет

# ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Рассматриваются особенности дорожно-транспортного сектора в контексте преодоления негативных последствий глобального экологического кризиса. Охарактеризованы эколого-ориентированные направления развития дорожного строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог. Выделены перспективные исследования и инновации: разработка способов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд; изучение возможностей использования отходов местных промышленных предприятий (например, кубовых остатков химической отрасли) для модифицирования дорожных битумов; замена природных каменных материалов для верхнего и нижнего слоев дорожных покрытий на отходы камнедробления; использование отходов пластмасс, резины в качестве полимерных модификаторов.

*Ключевые слова:* автомобильная дорога; экологический риск; экологическая безопасность строительства; негативное воздействие на окружающую среду.

**Для цитирования:** 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

O.D. LUKASHEVICH, V.N. LUKASHEVICH, Tomsk State University of Architecture and Building

## IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN CONSTRUCTION AND ROAD SERVICE

The paper considers the road transportation sector in the context of the negative impacts of the global economic and financial crises on the environment. The ecology-oriented development of the road construction, road repair and maintenance are described herein. The promising research

© Лукашевич О.Д., Лукашевич В.Н., 2020

and innovation development in Siberia includes the ways to increase the stability of asphalt concrete pavements, studying the possibilities of waste utilization produced by the local industrial enterprises (for example, stillage residues of the chemical industry) for the road asphalt modification; replacement of rock materials used in the upper and lower layers of the pavement coatings by by-passed stone, utilization of plastics scrap and rubber in polymer modification.

*Keywords:* road; ecological risk; environmental safety in construction; negative impact on the environment.

*For citation:* Lukashevich O.D., Lukashevich V.N. Puti povysheniya ekologicheskoi bezopasnosti pri stroitel"stve i ekspluatatsii avtomobil"nykh dorog [Improvement of environmental safety in construction and road service]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 200–210.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210

Понятие «экологическая безопасность», которое (в широком понимании) характеризует состояние защищенности окружающей природной и социальной среды от тех или иных воздействий, в последние 30 лет стало все шире распространяться на сферу строительства. Термин «экологическая безопасность автомобильной дороги» (далее ЭБ АД), согласно [1], включает в себя защищенность природы и социума от воздействия автомобильной дороги на всех этапах ее жизненного цикла: строительства, реконструкции, эксплуатации, содержания и ремонта. Критерием экологической безопасности при этом являются приемлемые количественные значения санитарно-гигиенических нормативов или соответствие экологических параметров рамкам фоновых значений для конкретной территории. Выполнение этих условий обеспечивает устойчивость естественных экосистем на территориях, прилегающих к автотранспортной системе, в течение неопределенно долгого времени.

Системность понятия «экологическая безопасность автомобильной дороги» требует выделения и осмысления всех его подсистем и составляющих их компонентов; выявления количественных и качественных параметров для их оценивания; обоснованных ограничительных величин (предельно допустимых концентраций, уровней воздействия и т. п.); четкого целеполагания и определения функций. На этой основе должны формироваться как межотраслевая интеграция, так и согласованный, внутренне непротиворечивый комплекс мероприятий, методов, а также документов (нормативных, технических), которые призваны обеспечить действенность природоохранных и ресурсосберегающих мероприятий. Все проектные решения (от организационно-управленческого до технологического и экономического уровней) должны основываться не только на соблюдении природоохранного законодательства, но и на инновациях, напрямую или косвенно связанных с ресурсо-, энергосбережением и рациональным природопользованием.

Внимание к повышению экологической безопасности в сфере строительства и эксплуатации автомобильных дорог объясняется обострением экологического кризиса, процессами глобализации, включением нашей страны в общеевропейские природоохранные программы, что потребовало обновления содержания нормативно-правовой базы в области экологического законодательства РФ. В этом контексте в отраслевом дорожном методическом докумен-

те «Экологическая безопасность автомобильной дороги: понятие и количественная оценка» [1] даны подробные рекомендации, касающиеся выполнения работ по строительству, ремонту, эксплуатации автомобильных дорог, охарактеризованы планирование и реализация мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Экологизация касается всех этапов строительства АД: изысканий, проектирования, заготовительных и транспортных работ, строительно-монтажных работ, контрольно-испытательной деятельности.

Чтобы охарактеризовать направления повышения ЭБ АД, выделим две подсистемы источников экологической опасности: а) дорожно-транспортная и б) транспортные средства. Первая включает в себя автомобильные дороги разных типов (асфальтобетонные, цементобетонные, гравийные), вторая – легковые автомобили и большегрузный транспорт. Обе подсистемы продолжительно или краткосрочно (в зависимости от большого числа внешних факторов и их сочетания) воздействуют на объекты окружающей среды. Такие инженерные сооружения, как земляное полотно, путепроводы, мостовые переходы, водоотводные и водопропускные устройства, а также состояние обочин АД, разнообразные объекты дорожной инфраструктуры (АЗС, остановочные комплексы и др.) влияют на состояние почвы, качество атмосферного воздуха, чистоту водных объектов, находящихся в зоне их воздействия. В рамках данной статьи основное внимание уделяется первой подсистеме.

Совокупность эколого-ориентированных мероприятий для дорожного строительства, согласно действующей нормативной документации, включает:

- сокращение отводимых земельных площадей (с максимальным сбережением сельскохозяйственных угодий);
- уменьшение количества природных ресурсов, применяющихся в строительстве (почва и грунт, лес, минеральные материалы и др.);
  - сохранение плодородного слоя почвы и рекультивация земель;
- соблюдение условий, не допускающих превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве; обеспечение уровня шума, не превышающего предельно допустимых значений;
- устранение возможности возникновения и развития в результате дорожно-строительной деятельности или функционирования дорожно-транспортных объектов процессов эрозии, заболачивания и осушения почв, появления оползней:
- предотвращение действий, следствием которых становится ухудшение условий существования людей, животных и растений;
- недопущение нанесения эстетического и историко-архитектурного ушерба существующему ландшафту;
- предотвращение происшествий и уменьшение тяжести их последствий, в том числе экологических, например связанных с авариями, сопровождающимися разливом нефтепродуктов, пожарами.

Важность учета перечисленных аспектов дорожного строительства отмечается во многих публикациях, в том числе в работах [1–6].

Строгое соблюдение мероприятий, направленных на повышение экологической безопасности АД, имеет особое значение в условиях Западной Сиби-

ри, что связано с региональными экстремальными природно-климатическими факторами. Содержание дорог в зимних условиях накладывает на дорожнотранспортные организации дополнительные обязанности [7]. От их выполнения зависит количество дорожно-транспортных происшествий. В этой связи необходимо отметить внимание к проблеме снижения аварийности, особо выделенной в национальном проекте «Безопасные и качественные автомобильные дороги», в соответствии с которым планируется снизить к 2024 г. до 50 % количество аварийно опасных участков, до 4 чел. на 100 тыс. населения число погибших в дорожно-транспортных происшествиях.

Анализ и обобщение научно-технической литературы по рассматриваемой проблеме позволяет авторам заключить, что управление и регламентирование природоохранной деятельности в дорожно-хозяйственной сфере сводится, главным образом, к выполнению эколого-ориентированных мероприятий, в обобщенном виде представленных на рисунке. Высокое качество АД (и напрямую связанная с ним экологическая безопасность) достигается при системном объединении всех составляющих жизненного цикла.



Основные эколого-ориентированные мероприятия в дорожно-строительной и дорожнотранспортной сфере

Отдельным вопросам в рамках рассматриваемого нами концепта «Экологически безопасная дорога высокого качества» посвящены публикации [8–10], освещающие вопросы ресурсосбережения и охраны окружающей среды, актуальные для России и других стран. К сожалению, большинство разработок ученых не находят широкого применения в российской дорожностроительной практике, оставаясь на уровне НИР и ОКР, часто – регионального масштаба. Необходимо большее использование доступных эффективных технологий отечественных и зарубежных предприятий, положительного опыта работы в сходных геоэкологических условиях.

Одним из направлений снижения антропогенной нагрузки на природную среду является создание новых «зеленых» технологий [11].

«Зелеными» технологиями в дорожном строительстве, по-нашему мнению, можно назвать такие, в которых утилизируются отходы производства и потребления и одновременно — благодаря высокому качеству полученной дорожной инфраструктуры — сокращаются время и материальные ресурсы, требуемые для поддержания АД в надлежащем состоянии в процессе эксплуатации. Реализация «зеленых» технологий позволит с использованием зарубежного и отечественного опыта успешно реализовать нацпроект «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Наибольший интерес представляют:

- разработка способов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд [12, 13];
- изучение возможностей использования отходов местных промышленных предприятий (например, кубовых остатков химической отрасли) для модифицирования дорожных битумов [14];
- замена природных каменных материалов для верхнего и нижнего слоев покрытий АД на отходы камнедробления [15];
- использование отходов пластмасс вместо дорогостоящих полимерных модификаторов [16–18].

Указанные литературные источники [12–18] отражают многообразие исследовательских работ по экологизации дорожного строительства. Подробно остановимся только на некоторых из них.

Научно-техническая литература по удешевлению строительства и повышению надежности и долговечности автомобильных дорог за счет использования при строительстве инженерных сооружений крупнотоннажных промышленных отходов достаточно обширна. Вторичная переработка, но не хранение на полигонах, захоронение или сжигание отходов, состоящих из полимерных материалов, является экологически целесообразным и экономически эффективным решением. При этом удается сохранить природные сырьевые ресурсы, стимулируется развитие безотходных, ресурсосберегающих технологий, освобождаются территории свалок, происходит оздоровление компонентов окружающей среды. Так, для улучшения характеристик дорожного вяжущего предлагается применять предварительно обработанную резиновую крошку из старых автомобильных шин, вовлекать в процесс получения асфальтобетонных смесей полимерные отходы, которые до настоящего времени утилизируются в недостаточной степени, накапливаясь на несанкционированных свалках и полигонах [19–22].

Авторами данной работы на основании многолетних исследований [17–19] разработана технология дисперсного армирования асфальтобетонной смеси с использованием полимерных волокон. При этом достигается решение экологической и технической проблем: утилизация отходов искусственных волокон и пластмасс и одновременно повышение долговечности и надежности дорожного покрытия. В соответствии с авторским техническим решением [19] традиционная технологическая схема производства асфальтобетона оснащается дополнительным цехом (участком), обеспечивающим внедрение в массу асфальтобетона волокнистых материалов, создающих эффект армирования и придающих сдвигоустойчивость и трещиностойкость дорожному покрытию, изготовленному из модифицированной асфальтобетонной смеси. Отличительной особенностью разработки является упрочнение структуры дорожного покрытия по всему объему, а не в пределах небольшого слоя (как, например, при использовании геотекстиля и геосеток).

В ОДМ 218.3.087–2017 «Рекомендации по применению асфальтобетонных смесей на основе металлургических шлаковых материалов для условий Центрального федерального округа» обосновано вовлечение в процесс получения асфальтобетона шлаковых материалов. К ним относятся гранулированные доменные шлаки, шлаковые и шлакопемзовые пески, ваграночные шлаки, применение которых способствует экономии природного сырья при создании дорожных покрытий.

На основе анализа научных публикаций, устных сообщений и выступлений, сведений о ходе реализации нацпроекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» на профессионально-ориентированных сайтах авторами составлена таблица, в которой систематизированы и проанализированы основные причины недолговечности дорожного полотна, показаны негативные последствия и предложены способы подавления влияния факторов, снижающих долговечность полотна АД.

### Анализ причин недолговечности дорожного полотна и способы преодоления её последствий

Фактор, влияю- щий на долго- вечность дорож- ного полотна	Негативные последствия	Способы решения проблемы	Уровень решения проблемы	
			государ- ственный	регио- нальный
Недостаточное финансирование и его задержка	Несоблюдение меж- ремонтных сроков	Проведение капитального ремонта каждые 5 лет		+
	Использование де- шевых некачествен- ных материалов	Контроль качества материалов		+
	Использование устаревшей техники	Налаживание выпуска современных отече- ственных дорожно- строительных машин	+	+

#### Окончание таблицы

Фактор, влияю- щий на долго- вечность дорож- ного полотна	Негативные последствия	Способы решения проблемы	Уровень решения проблемы	
			государ- ственный	регио- нальный
Недостаточное финансирование и его задержка	Отсутствие у органов управления дорожным хозяйством стимулов для качественного выполнения работы	Создание стимулов работников дорожно-хозяйственного сектора к своевременному и качественному выполнению работ	+	+
Отставание во внедрении новых технологий дорожного строительства	Низкое качество дорожных работ Простаивание техники и работников при неблагоприятных температурновлажностных условиях	Внедрение вместо классических способов строительства и ремонта АД новых современных материалов, литого асфальта, цементобетонных покрытий	+	+
Нарушение стандартов, нормативов, технологий	Преждевременное разрушение дорожной одежды	Строгое соблюдение ГОСТ, СНиП, ТУ, регламентов	+	+
Отсутствие современной нормативно- технической и сметной документации	Устаревшая доку- ментация тормозит внедрение иннова- ций	Своевременное обновление и гармонизация с мировыми образцами научно-технического законодательства, научно-технической и иной документации	+	
Природно- климатические условия	Разрушение верхних слоев покрытия водой при переходе через нулевую температуру	Совершенствование строительных материалов и технологий (например, тонкослойных защитных покрытий)		+
Высокая интенсивность нагрузок на дорогу	Преждевременное разрушение всех слоев дорожной одежды	Запрет на проезд большегрузного транспорта по дорогам низкой категории Разработка и внедрение новых материалов и технологий дорожного строительства	+	+

Проведенная оценка показывает сложность и многоаспектность проблемы долговечности АД. Вновь обращаясь к материалам нацпроекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», отметим его актуальность

и заинтересованность широкого круга россиян (представителей власти, бизнеса, социума) в неукоснительном исполнении поставленных в нем задач.

К сожалению, в то время как в нашей стране существуют дорожные карты в «зеленом» строительстве, пока нет понимания необходимости развития «зеленого» дорожного строительства.

Не создано федеральной программы для поддержки «зеленого» дорожного строительства, не разработана система льгот для организаций, готовых реализовывать инновационные «зеленые» проекты, вследствие чего они практически не применяются. Во внедрении госпрограммы для поддержки «зеленых» дорожно-строительных технологий заинтересовано население, экологические организации (государственные и общественные), а также прогрессивные строительные фирмы, однако понимания важности экологической ориентации на глубинном уровне у инвесторов и подрядчиков пока нет. Основные причины – представление о том, что строительство и эксплуатация «зеленой» дороги на 20-50 % дороже, чем обычной; нежелание усложнять технологический процесс; а также неразработанность общедоступного банка данных о пригодных для утилизации в дорожном строительстве отходах (их видах, количестве, поставщиках и т. д.). Перспективы развития «зеленых» дорожно-строительных технологий, безусловно, есть. Пусть с запозданием, по сравнению с экологически ориентированными странами, «зеленое» градостроительство уверенно завоевывает свои позиции. Примерами тому являются сооружения сочинской Олимпиады, чемпионата мира по футболу, «Сколково». Технологий «зеленого» дорожного строительства пока немного, только некоторые зарубежные образцы можно адаптировать к российским условиям, в частности [20, 23].

Безусловно, есть проблема нехватки специалистов, способных проектировать и строить АД с учетом экологических технологий. Очевидно, что необходимо совершенствование учебных планов и образовательных программ, а также постоянный обмен опытом между строителями из разных стран.

В заключение отметим, что в последние 20 лет у бизнес-структур в России наметился интерес (хотя и слабый) бизнеса к строительству экологически безопасных дорог высокого качества. Однако его реализация тормозится из-за ряда причин, и главное — из-за отсутствия системного подхода к данной проблеме. Необходимо совершенствование действующего законодательства; государственные усилия по обеспечению сотрудничества между поставщиками и переработчиками отходов, между представителями крупного, среднего и малого бизнеса с координирующей ролью и субсидированием государственными субсидиями убыточных технологических стадий; мотивация бизнеса через послабление налогового бремени; создание программ по обеспечению экологической безопасности при обращении с отходами, предназначенными для переработки в качестве компонентов дорожно-строительных материалов.

#### Библиографический список

1. Экологическая безопасность автомобильной дороги: понятие и количественная оценка: отраслевой дорожный методический документ. Утв. распоряжением Минтранса России от 31.12.2002 № ОС-1181-р / Министерство транспорта РФ; Гос. служба дорожного хозяйства. Москва, 2002.

- 2. *ОДН 218.5.016-2002*. Показатели и нормы экологической безопасности автомобильной дороги. Изд. офиц. Отрасл. дор. нормы / Министерство трансп. Российской Федерации ; Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). Москва, 2003. 44 с.
- 3. *ОДМ 218.2.013-2011*. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам : отраслевой дорожный методический документ. Москва : Росавтодор, 2012. 160 с.
- Справочное пособие по охране окружающей природной среды и рациональному использованию природных ресурсов (управление и регламентирование природоохранной деятельности в дорожном хозяйстве с учетом требований стандартов серии ГОСТ Р ИСО 14000) / Росавтодор. Москва: Информавтодор, 2000. 180 с.
- 5. *Глухов А.Т., Медведев Д.С.* Проектирование экологических мероприятий // Новости в дорожном деле: науч.-техн. информ. сб. / Информавтодор. Москва, 2003. Вып. 3. С. 23–30.
- 6. *Евгеньев И.Е., Савин В.В.* Защита природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1989. 239 с.
- 7. Подольский В.П., Самодурова Т.В., Федорова Ю.В. Экологические аспекты зимнего содержания дорог. Воронеж: Воронеж. гос. арх-строит. акад., 2000. 152 с.
- 8. *Евгеньев И.Е., Курденкова И.Е.* Пособие по охране окружающей среды при производстве дорожно-строительных материалов. Москва: ГП «Информавтодор», 2002. 180 с.
- 9. *Петросян Т.О., Сидоренко В.Ф.* Экологическая безопасность автомобильных дорог // Вестник Волгоградского гос. архитектурно-строительного ун-та. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 28 (47). С. 332–336.
- 10. *Автомобильные дороги*: безопасность, экологические проблемы, экономика: Российско-Германский опыт / под ред. В.Н. Луканина, К.-Х. Ленца. Москва: Логос, 2002. 607 с.
- 11. Сайт передовых зеленых технологий в России и за рубежом. URL: http://greenevolution.ru/blogs/tri-glavnye-probl (дата обращения: 25.09.2020).
- Конорева О.В., Муравьев Ю.А. Анализ современных методов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к колееобразованию // Инженерный вестник Дона. 2016.
   № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3802
- 13. *Николенко М.А., Бессчетнов Б.В.* Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий // Инженерный вестник Дона. 2012. № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/856.
- 14. Лескин А.И., Гофман Д.И., Катасонов М.В., Вовко В.В., Скоробогатченко Д.А. Использование местных отходов химической промышленности в составленных вяжущих // Вестник Волгоградского гос. архитектурно-строительного ун-та. Серия: Строительство и архитектура. 2018. № 53 (72). С. 83–91.
- 15. *Мавлиев Л.Ф., Буланов П.Е., Воовин Е.А., Захаров В.В., Гимазов А.Р.* Модификация дорожно-строительных материалов на основе отходов камнедробления, обработанных цементом, введением природного песка и метилсиликоната калия // Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35). С. 247–254.
- 16. Корнейчук Н.С., Лескин А.И., Рахимова Н.А. Полимерно-битумное вяжущее на основе вторичного полипропилена для производства асфальтобетонных смесей // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. 11 с. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_182\_Korneichuk\_Lesquin\_Rakhimova.pdf\_4e7ad4367c
- Лукашевич В.Н., Погорелый А.В. Увеличение срока службы дорожных покрытий за счет дисперсного армирования и двухстадийной технологии приготовления асфальтобетонных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2001. № 2. С. 45–51.
- 18. *Лукашевич В.Н., Ефанов Н.Е.* Исследование влияния технологии приготовления асфальтобетонных смесей на процессы старения асфальтового вяжущего при использовании волокнистых сорбентов в качестве дисперсной арматуры // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2. С. 191–196.
- 19. Lukashevich V., Efanov I., Vlasov V., Lukashevich O. Asphalt concrete pavement reinforced with chemical fibers // MATEC Web of Conferences. 216. 01013 (2018). URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/201821601013. Polytransport Systems-2018
- 20. Abdullah M.E., Abd Kader S.A., Putra Jaya R., Yaacob H., Abdul Hassan N., Che Wan C.N. Effect of Waste Plastic as Bitumen Modified in Asphalt Mixture // ISCEE 2016: 2016 Interna-

- tional Symposium on Civil and Environmental Engineering. Wuhan, China, MATEC Web of Conferences. 2017. P. 103.
- 21. Brasileiro L., Moreno-Navarro F., Tauste-Martínez R., Matos J., Rubio-Gámez M.d.C. Reclaimed Polymers as Asphalt Binder Modifiers for More Sustainable Roads: a Review // Sustainability. 2019. 11 (3). 646.
- 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): 2394–3386.
- 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.

#### **REFERENCES**

- Ekologicheskaya bezopasnost' avtomobil'noi dorogi: ponyatie i kolichestvennaya otsenka: otraslevoi dorozhnyi metodicheskii document [Environmental safety of automobile roads: concept and quantitative evaluation]. Moscow: Rosavtodor, 2002. (rus)
- ODN 218.5.016-2002 Pokazateli i normy ekologicheskoi bezopasnosti avtomobil'noi dorogi. Izd.
  ofits. Otrasl. dor. normy [Indicators and standards of environmental safety of automobile roads.
  Indicators and norms of environmental road safety]. Moscow: Rosavtodor, 2003. 44 p. (rus)
- 3. ODM 218.2.013-2011. Metodicheskie rekomendatsii po zashchite ot transportnogo shuma territorii, prilegayushchikh k avtomobil'nym dorogam: otraslevoi dorozhnyi metodicheskii dokument [Methodological recommendations for protection of territories adjacent to highways from traffic noise]. Moscow: Rosavtodor, 2012. 160 p. (rus)
- 4. Spravochnoe posobie po okhrane okruzhayushchei prirodnoi sredy i ratsional'nomu ispol'zovaniyu prirodnykh resursov (upravlenie i reglamentirovanie prirodookhrannoi deyatel'nosti v dorozhnom khozyaistve s uchetom trebovanii standartov serii GOST R ISO 14000) [Reference manual on environmental protection and rational use of natural resources (Environmental management in the road sector according to GOST R ISO 14000 requirements)]. Moscow: Informavtodor, 2000. 180 p. (rus)
- 5. Glukhov A.T., Medvedev D.S. Proektirovanie ekologicheskikh meropriyatii [Environmental measure projecting]. Moscow: Informavtodor, 2003. (3). 23–30. (rus)
- 6. Evgen'ev I.E., Savin V.V. Zashchita prirodnoi sredy pri stroitel'stve, remonte i soderzhanii avtomobil'nykh dorog [Environmental protection in road construction, repair and maintenance]. Moscow: Transport, 1989. 239 p. (rus)
- 7. *Podol'skii V.P.*, *Samodurova T.V.*, *Fedorova Yu.V*. Ekologicheskie aspekty zimnego soderzhaniya dorog [Environmental aspects of winter road servicing]. Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 2000. 152 p. (rus)
- 8. Evgen'ev I.E., Kurdenkova I.B. Posobie po okhrane okruzhayushchei sredy pri proizvodstve dorozhno-stroitel'nykh materialov [Environmental protection guide for road building materials]. Moscow: Informavtodor. 2002. 180 p. (rus)
- 9. Petrosyan T.O., Sidorenko V.F. Ekologicheskaya bezopasnost' avtomobil'nykh dorog [Environmental safety of roads] Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2012. No. 28 (47). Pp. 332–336. (rus)
- Lukanin V.N., Lents K.-Kh. (Eds) Avtomobil'nye dorogi: bezopasnost', ekologicheskie problemy, ekonomika: Ros.-Germ. opyt [Automobile roads: safety, environmental issues, economics: Russian-German experience]. Moscow: Logos, 2002. 607 p. (rus)
- 11. Sait peredovykh zelenykh tekhnologii v Rossii i za rubezhom [Website for advanced green technologies in Russia and abroad]. Available: greenevolution.ru/blogs/tri-glavnye-probl (accessed September 25, 2020) (rus)
- Konoreva O.V., Murav'ev Yu.A. Analiz sovremennykh metodov povysheniya ustoichivosti asfal'tobetonnykh pokrytii k koleeobrazovaniyu [Modern methods of rutting resistance increase of asphalt concrete pavements]. Inzhenernyi vestnik Dona. 2016. No 4. Available: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3802 (rus)
- Nikolenko M.A., Besschetnov B.V. Povyshenie dlitel'noi treshchinostoikosti asfal'tobetona dorozhnykh pokrytii [Increase of long-term crack resistance of asphalt concrete pavements]. Inzhenernyi vestnik Dona. 2012. No. 2. Available: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/856. (rus)

- 14. Leskin A.I., Gofman D.I., Katasonov M.V., Vovko V.V., Skorobogatchenko D.A. Ispol'zovanie mestnykh otkhodov khimicheskoi promyshlennosti v sostavlennykh vyazhushchikh [Local chemical waste for binders]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2018. No. 53 (72). Pp. 83–91. (rus)
- 15. *Mavliev L.F.*, *Bulanov P.E.*, *Vdovin E.A.*, *Zakharov V.V.*, *Gimazov A.R.* Modifikatsiya dorozhno-stroitel'nykh materialov na osnove otkhodov kamnedrobleniya, obrabotannykh tsementom, vvedeniem prirodnogo peska i metilsilikonata kaliya [Modification of road-building materials based on by-passed stone with cement, introduction of natural sand and potassium methyl siliconate]. *Izvestiya KGASU*. 2016. No. 1 (35). Pp. 247–254. (rus)
- 16. Korneichuk N.S., Leskin A.I., Rakhimova N.A. Polimerno-bitumnoe vyazhushchee na osnove vtorichnogo polipropilena dlya proizvodstva asfal'tobetonnykh smesei [Polymer-bitumen binder based on recycled polypropylene for the production of asphalt concrete mixtures]. Inzhenernyi vestnik Dona. 2017. No. 2. P. 11. Available: www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_182\_Korneichuk\_Lesquin\_Rakhimova.pdf\_4e7ad4P.367 (rus)
- 17. Lukashevich V.N., Pogorelyi A.V. Uvelichenie sroka sluzhby dorozhnykh pokrytii za schet dispersnogo armirovaniya i dvukhstadiinoi tekhnologii prigotovleniya asfal'tobetonnykh smesei [Increase in road pavement service life due to dispersed reinforcement and two-stage asphalt concrete mix technology]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2001. No. 2. Pp. 45–51. (rus)
- 18. Lukashevich V.N., Efanov N.E. Issledovanie vliyaniya tekhnologii prigotovleniya asfal'tobetonnykh smesei na protsessy stareniya asfal'tovogo vyazhushchego pri ispol'zovanii voloknistykh sorbentov v kachestve dispersnoi armatury [Asphalt concrete mix technology affecting aging processes of asphalt binder with fibrous sorbents used as dispersion reinforcement]. Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. 2012. No. 2. Pp. 191–196. (rus)
- Lukashevich V., Efanov I., Vlasov V., Lukashevich O. Asphalt concrete pavement reinforced with chemical fibers. MATEC Web of Conferences. 2018. V. 216. 01013. DOI: 10.1051/ matecconf/201821601013.
- 20. Abdullah M.E., Abd Kader S.A., Putra Jaya R., Yaacob H., Abdul Hassan N., Che Wan C.N. Effect of waste plastic as bitumen modified in asphalt mixture. MATEC Web of Conferences. 2017. P. 103.
- 21. Brasileiro L., Moreno-Navarro F., Tauste-Martínez R., Matos J., Rubio-Gámez M.D.C. Reclaimed polymers as asphalt binder modifiers for more sustainable roads: A review. Sustainability. 2019. V. 11. No. 3. P. 646.
- Chakraborty A., Mehta S. Utilization & minimization of waste plastic in construction of pavement: A review. International Journal of Engineering Technology Science and Research. 2017. V. 4. No. 8. Pp. 2394–3386.
- 23. 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. V. 198. Pp. 237–244.

#### Сведения об авторах

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

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

#### **Authors Details**

Olga D. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, odluk@yandex.ru

Viktor N. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vnluc@yandex.ru