

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 6. С. 257–271.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (6): 257–271.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.8+667.621

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-257-271

EDN: OSPFUR

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПУТЕМ ИХ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ

Виктор Николаевич Лукашевич, Ольга Дмитриевна Лукашевич

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

Аннотация. Актуальность. Повышение устойчивости и долговечности, а также совершенствования функциональности асфальтобетонов – одна из самых актуальных задач транспортного строительства. Это связано с необходимостью преодоления быстрого разрушения дорожных одежд под воздействием растущих транспортных нагрузок и негативного влияния климатических факторов.

Цель работы – анализ и обобщение имеющихся результатов по теме исследования и выработка рекомендаций, касающихся наилучших доступных, экономически выгодных способов получения композиционных асфальтобетонных смесей путем полимерно-дисперсного армирования.

Методы. Для оценки особенностей технологий дисперсного армирования асфальтобетонных смесей рассмотрены научные публикации, посвященные изучению влияния физико-химических свойств и химического состава используемых материалов и размеров фибры, температурных режимов, способа их введения в смеси. Применились общелогические методы (анализ, синтез, абстрагирование, обобщение, классификация, моделирование), общенаучные и частнонаучные подходы в строительном материаловедении.

Результаты. Обзор литературы из отечественных и зарубежных источников позволил выявить основные тренды развития технологий дисперсного армирования в дорожно-строительном материаловедении. Первое направление – расширение ассортимента материалов дисперсной арматуры (органических и неорганических; природных и синтетических по происхождению). Второе – поиск и оптимизация способов введения арматуры (фибры) в асфальтобетонную смесь на стадии ее получения. Третье – изучение физико-химических механизмов, лежащих в основе взаимодействия между частицами арматуры и компонентами АБС и влияния на них качества вяжущего (битума), минерального порошка, песка, щебня, добавок.

Выводы. Реализация рекомендаций, касающихся наиболее эффективных способов дисперсного армирования асфальтобетона, обеспечения нормативно-правовой базы их реализации позволит повысить эксплуатационные показатели автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием.

Ключевые слова: полимерно-дисперсное армирование, фиброасфальтобетон, дисперсно-армированный асфальтобетон, фибра, полимерные волокна, физико-механические свойства, технология асфальтобетона

Для цитирования: Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д. Улучшение характеристик асфальтобетонных покрытий путем их дисперсного армирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 6. С. 257–271. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-257-271. EDN: OSPFUR

ORIGINAL ARTICLE

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS BY FIBER REINFORCEMENT

Viktor N. Lukashevich, Olga D. Lukashevich

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Improvement of asphalt concrete stability, durability, and functionality, is one of the most important challenges in the transport construction. This is due to the need to overcome the rapid pavement deterioration under the influence of increasing traffic load and negative impact of climatic conditions.

Purpose: The objective of the work is to analyze and summarize research results and develop recommendations regarding the best available, costeffective methods for producing composite asphalt concrete mixtures using polymer fiber reinforcement.

Methodology/approach: To evaluate the polymer fiber reinforcement of asphalt concrete mixtures, much efforts has been done to study the influence of physicochemical properties and chemical composition of materials, fiber size, temperature conditions, and fiber introduction in the mixture. General logical methods (analysis, synthesis, abstraction, generalization, classification and modeling) and general and specific scientific approaches are used in construction materials science.

Research findings: According to the literature, key trends in the development of fiber reinforcement techniques are determined for materials science in the road construction. The first is expanding the range of fiberreinforced materials (organic and inorganic, natural and synthetic). The second is identifying and optimizing methods for fiber introduction in the asphalt concrete mixture during its production from raw materials. The third is studying physicochemical mechanisms underlying the interaction between reinforcing particles and asphalt concrete components and the quality of bitumen, mineral powder, sand, crushed stone and additives.

Value: Implementation of recommendations regarding the most effective methods of fiber reinforcement of asphalt concrete and a regulatory framework for their implementation will improve the road pavement performance.

Keywords: polymer fiber reinforcement, fiber-reinforced asphalt concrete, physical and mechanical properties, asphalt concrete

For citation: Lukashevich V.N., Lukashevich O.D. Performance Improvement of Asphalt Concrete Pavements by Fiber Reinforcement. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (6): 257–271. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-257-271. EDN: OSPFUR

Введение

Поиск путей повышения устойчивости покрытий автомобильных дорог из асфальтобетона к внешним нагрузкам многие годы продолжает оставаться актуальной задачей теоретических исследований и опытно-конструкторских работ в сфере дорожного строительства [1–5]. Одним из способов улучшения эксплуатационных характеристик (например, устойчивости и долговечности асфальтобетонных покрытий, увеличения межремонтных сроков магистралей) является дисперсное армирование [6–15].

Под дисперсным армированием асфальтобетонной смеси (АБС) понимается введение в нее волокон (фибры) или нитей с равномерным их распределением по объему АБС. В качестве дисперсной арматуры могут быть использованы следующие материалы: стальная проволока (ОДМ 218.2.014–2011 «Методические рекомендации по применению сталифибробетона при ремонте мостовых сооружений», а также [7]); полимерные волокна [8, 13, 15–19]; базальтовая фибра (Методические рекомендации по технологии армирования асфальтобетонных покрытий добавками базальтовых волокон (фиброй) при строительстве и ремонте автомобильных дорог утверждены распоряжением Росавтодора от 11.01.2002 № ОС-12-р), подтвержденные исследованиями С.Ю. Андронова [11] и другими [2, 4, 7, 14].

Нами было установлено, что положительный эффект от введения дисперсной арматуры связан со следующими факторами:

- создается пространственная армирующая решетка, окружающая минеральные частицы;
- повышается прочность асфальтобетона при сдвиге;
- повышается прочность асфальтобетона при растяжении при отрицательных температурах;
- улучшается деформативность при температурах ниже 0 °C;
- повышается усталостная прочность.

Лабораторные испытания показали, что применение дисперсной арматуры для создания долговечной каркасно-сетчатой системы в битумоминеральной композиции обеспечивает дополнительную связь между частицами минерального материала. Этот эффект достигается за счет волокон, зажатых в структурированных слоях битума, и приводит к улучшению эксплуатационных характеристик: водо-, тепло- и трещиностойкости, а также сдвигостойчивости материала [13, 19, 20].

В зависимости от диаметра и структуры волокон дисперсная арматура может располагаться в адсорбционном слое, не влияя на упаковку минеральных частиц, либо выходить за его пределы, расклинивая их.

Основными причинами, сдерживающими практическое внедрение способов дисперсного армирования АБС, предлагаемых в научной литературе [21–25], на наш взгляд, являются:

- 1) разрозненность фактических данных;
- 2) недостаточность доказательной базы, основанной на мониторинге качества дорожных покрытий,озводенных с применением такой арматуры;
- 3) слабая инженерная проработка эффективных методов введения и распределения фибры в асфальтобетонной смеси.

Целью настоящей работы является анализ и обобщение имеющихся результатов по теме исследования и выработка рекомендаций, касающихся наилучших доступных, экономически выгодных способов получения композиционных асфальтобетонных смесей путем полимерно-дисперсного армирования.

Методы исследования

Для анализа особенностей известных сегодня технологий дисперсного армирования АБС были рассмотрены научные публикации, посвященные изучению влияния на эксплуатационные характеристики асфальтобетона физико-

химических свойств и химического состава используемых материалов и размеров фибры, температурных режимов, а также способа их введения в АБС. В рассмотренных публикациях использованы традиционные и специфические методы исследования армированных образцов. К ним относятся: проведение по стандартным методикам испытаний на стабильность и текучесть; определение объемной плотности и сопротивления образцов пластическому течению; оценка водостойкости; изучение методом трехточечного испытания образцов асфальтобетона на изгиб; определение стойкости к колеобразованию и разрушающей нагрузки (по Маршаллу) [2, 6, 10, 12, 25 – 27]. В ряде работ исследователи использовали оригинальные авторские методики [13, 22, 28, 29], а также специфические, рекомендованные нормативами и стандартами для тех стран, где их применяют.

Результаты и их обсуждение

Обзор литературы из отечественных и зарубежных источников позволил выявить основные тренды развития технологий дисперсного армирования в дорожно-строительном материаловедении.

Первое направление – расширение ассортимента материалов дисперсной арматуры (неорганических и органических; природных и синтетических по происхождению).

Второе – поиск и оптимизация способов введения арматуры (фибры) в асфальтобетонную смесь на стадии ее получения из сырьевых материалов.

Третье – изучение физико-химических механизмов, лежащих в основе взаимодействия между частицами арматуры и другими компонентами АБС – вяжущего (битума), минерального порошка, щебня, песка, модифицирующих добавок.

Другие возможные направления либо слабо представлены (содержатся в единичных публикациях, не имеют достаточной доказательной базы); либо не представляют интерес ввиду региональной/территориальной специфики какой-либо страны с условиями, далекими от российских; либо при пристальном рассмотрении могут быть отнесены к одному из трех упомянутых направлений.

Охарактеризуем проблемное поле **первого направления** с упоминанием научных публикаций, посвященных каждому из приведенных примеров. К материалам, испытанным в качестве дисперсной арматуры в асфальтобетонах, относятся:

1. *Неорганические волокна из природных минералов и стекла*: стеклофибра [30], базальтовая фибра [31, 32], диатомитовое стекло [33], стальная фибра [34], хризотил-асbestовые [25, 26, 35], магнезиальные [36] волокнистые материалы.

Использование стеклофибры в дорожном строительстве нельзя назвать однозначно позитивным, как это принято для стеклоармированного цементобетона. Хрупкость тонких стекловолокон, трудности с аппаратурой (устройствами) для их введения в АБС, слабая проработка выбора режимов (температурных, временных), учета химических взаимодействий между компонентами минерального порошка и стекла, других возможных при старении асфальтобетона процессов, отсутствие разработанной, апробированной и документально закрепленной технологии такого дисперсного армирования не позволяют на

данном этапе НИР и ОКР рекомендовать для широкого внедрения в практику. Вместе с тем разработка технологий с использованием отходов стекла представляется весьма перспективной ввиду экономической и экологической целесообразности.

Положительный эффект при использовании базальтовой фибры проявляется в ее термической, коррозионной и влагостойкости; в высокой прочности, трещиноустойчивости полученного армированного асфальтобетона. Базальтовая фибра способна поглощать часть звуковых волн. Она позволяет уменьшать слой асфальтового покрытия на 20 %, продлевает межремонтный период, снижая расходы на техническое обслуживание дорожного полотна.

Вместе с тем при введении базальтовой фибры имеются сложности с ее равномерным распределением; волокна базальта легко разрушаются в процессе перемешивания АБС.

В зарубежной научной литературе асфальтобетон, модифицированный стальной фиброй, называется steel fiber-reinforced asphalt concrete (SFRAC). Стальная фибра, введенная в АБС в количестве 0,5–1,0 масс. %, характеризуется недостаточным сцеплением с асфальтобетоном, вследствие чего устойчивость асфальтобетонного покрытия снижается на 20 % [34]. Несмотря на это, использование стальной фибры, благодаря повышению электропроводности дорожного покрытия и связанными с этим возможностями новых областей применения (например, разогрев асфальтобетона электричеством), авторы считают революционным.

Упоминание в качестве фибры углеродных (графитовых) нанотрубок, волокон [37], с учетом хрупкости углерода, по нашему мнению, связано не с их армирующим действием, а с поверхностным взаимодействием «графит – битум», улучшением адгезии, необходимой для хорошего сцепления битума с песком и ростом динамической стабильности АБС. Нанотрубки обеспечивают прочное сцепление битума с песком, т. к. обладают высокими адгезионными свойствами, замедляют процесс старения асфальтобетона. Таким образом, употребление термина «модифицирующая добавка» в отношенииnanoуглеродных трубок более правомерно, чем «армирующая». Этот вывод подтверждается рядом исследований, показывающих, что использование в качестве добавки в АБС даже более дешевого, чем нанотрубки, технического углерода оказывает положительное воздействие на качество асфальтобетона.

В составе магнезиального материала брусита основным минералом является MgO. Брусит может представлять собой пластинчатые, листовые, массивные, волокнистые агрегаты. Термическое разложение происходит в интервале температур от 350 до 400 °C, при этом выделяются оксид магния и вода. Этот факт, а также слаботщелочные свойства, огнестойкость, хорошая адсорбционная способность и экологичность позволяют назвать брусит перспективным для дисперсного армирования асфальтобетона.

2. *Природные органические волокна:* джутовые волокна [39], бамбук [40], лигнин [41], стебли кукурузы [42].

Главным достоинством применения таких волокон является реализация принципов устойчивого развития, поскольку одновременно с упрочнением асфальтобетона используются возобновляемые растительные ресурсы и отходы.

Введение в АБС 0,5–1,0 масс. % джути повышает ее стабильность за счет уменьшения содержания в смеси летучих жирных кислот, общего удельного веса, текучести, воздушных пустот.

Волокна бамбука и сахарного тростника при введении в АБС улучшают показатели на прочность и растяжение, продляют срок службы дорожного покрытия. Использование кукурузных стеблей (понимаем – целлюлозных волокон) улучшает механические характеристики смеси и термостабильность.

Основные затруднения при использовании природных органических волокон (как правило, являющихся отходами сельского хозяйства или переработки древесины): смешивание с компонентами АБС (сплетение в «комки»); разрушение структуры макромолекул целлюлозы под действием природно-климатических факторов (перепады температур, разложение в присутствии воды); сложность выбора оптимальных режимов (состав АБС, последовательность операций), что связано с различиями в качестве исходного органического волокнистого сырья.

3. *Полимерно-органические синтетические волокна*: полизифирное (нейлон, полиэтилентерефталат – ПЭТФ, полиакрилонитрил – ПАН) [43], углеводородное (полипропиленовое) [44], ароматические полиамидные волокна (арамидное) [45].

Перечисленные здесь и другие полимерные волокна, по сравнению с рассматриваемыми типами материалов фибр для дисперсного армирования АБС, вызывают наибольший интерес исследователей. Им посвящены многочисленные отечественные и зарубежные публикации [4–6, 8–11, 13, 15–18, 21–23, 43–47].

В этих работах, как правило, показано улучшение прочностных и деформационных свойств полимерно-дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей по сравнению с неармированными образцами. Арамидные волокна не уступают по прочности стальным, и при этом их плотность в пять раз меньше. Они характеризуются большим модулем упругости и прочностью на растяжение, не поддаются коррозии, устойчивы к высоким температурам. Волокна из полиуретановых и поливинилхлоридных полимеров, напротив, претерпевают деструкцию при нагревании до температур выше 110 °С, этим объясняется запрет на их применение в качестве армирующих материалов для АБС.

Интерес исследователей вызывает поиск двухкомпонентных армирующих волокон, например, скрученных из мононитей полипропилена и арамида. Полипропиленовые нити, скрученные в пучки, способствуют перемешиванию и распределению арамидных волокон. Арамидные волокна, в свою очередь, улучшают высокопрочные, высокотемпературные свойства асфальтобетонной смеси, играя армирующую роль. В США (штат Аризона) опытным путем установлено, что использование отрезков таких волокон длиной 19/38 мм обеспечивает прочность при растяжении 4900–28000 г/см² (по данным ИНДОРТЕХ <https://uneedusgroup.com/file-manager/files/1/Презентация%20Форта.pdf>). Выпускаемая под торговой маркой FORTA FI (<https://bavcompany.ru/catalog/materials/arkhiv-materialov/dobavka-forta/?ysclid=mi7a6b3byj344831431>) патентованная) смесь двух полимерных волокон для дисперсного армирования при введении 0,5 кг на 1 т АБС предотвращает отраженное трещинообразование, колеобразование, дает возможность уменьшить толщину слоя без потери устойчивости.

Проблемное поле *второго направления*, связанного с поиском и оптимизацией способов введения арматуры (фибры) в асфальтобетонную смесь на стадии ее получения [21, 23, 31, 32, 36, 37, 39, 48–51], включает следующие аспекты:

- отсутствие теоретически обоснованной, экспериментально отработанной в производственных и эксплуатационных условиях технологии введения фибры в состав смеси. В России в настоящее время отсутствует широкий опыт производства асфальтобетонных смесей с добавлением фибры на асфальтобетонных заводах;
- трудности обеспечения однородного распределения волокон в составе асфальтобетонной смеси;
- недостаточно изучены технологические свойства армированных асфальтобетонных смесей, а также деформационно-прочностные характеристики асфальтобетонов с комплексно модифицированной структурой;
- необходимость разработки и усовершенствования устройств для обработки армирующих волокон при производстве композиционных дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей.

Третье из рассматриваемых направлений (изучение физико-химических механизмов, лежащих в основе взаимодействия между частицами арматуры и компонентами АБС и влияния на них качества вяжущего (битума), минерального порошка, песка, щебня, добавок) характеризуется меньшим, по сравнению с двумя предыдущими, количеством отечественных публикаций [21, 23, 27, 38, 52–56]. Это связано с необходимостью использования дорогостоящего оборудования для проведения исследований; со сложностью самого предмета исследования – сырьевой и технологической нестабильностью материалов АБС и взаимным влиянием «матрицы» всех компонентов смеси; малочисленностью ученых-экспериментаторов и специалистов в промышленности, заинтересованных в разработке инноваций. Прочность, создаваемая на поверхности частиц, зависит от связей, которые определяются природой минеральных материалов, фибры и активностью битума. Их «тонкое» физико-химическое взаимодействие – предмет исследования дополняющими друг друга физико-химическими методами:

- электронная микроскопия (позволяет изучать состояние волокон дисперсной арматуры, их деформацию при уплотнении смеси и защемлении зернами минерального материала);
- ИК-спектроскопия (используется для исследования химического поведения волокон дисперсной арматуры под воздействием внешних факторов (ультрафиолета, природно-климатических нагрузок);
- методы теории перколоции (позволяют описать возникновение связных структур из дисперсных волокон в структуре асфальтобетона);
- традиционные лабораторные испытания образцов с определением физико-механических показателей АБС, подвергнутых армированию (плотность, водонасыщение, прочность при разных температурах и сдвигостойчивость).

Среди рассматриваемых проблем третьего направления можно выделить: адгезионное взаимодействие битума с частицами минерального порошка, которые выступают узлами, адсорбирующими асфальтосмолистые составляющие битума и обеспечивающими взаимное сцепление компонентов; влияние каче-

ства битума, поскольку важно оптимальное содержание смол, масел и асфальтенов в битуме, а для асфальтобетона в целом – содержание асфальтовяжущего и заполнителя (песка и щебня). В конечном итоге это сказывается и на структурирующей способности частиц дисперсной арматуры.

Перспективным также является обоснование физико-химических основ поиска адгезионных добавок, способных улучшать взаимодействие между битумом, каменным и фиброгенным материалом, повышать сцепление, водостойкость, износстойкость и морозостойкость асфальтобетона.

Среди работ по активации битумных вяжущих выделяются способы, включающие тепловую обработку, гидродинамическую кавитацию, воздействие электромагнитных полей, ультразвуковую обработку, радиационное воздействие и электрогидравлический эффект. Использование полимерных материалов, загрязненных нефтепродуктами, получило научное обоснование и имеет несомненную экологическую целесообразность.

Таким образом, изучение физико-химических механизмов взаимодействия фибры и компонентов АБС помогает улучшить характеристики строительных материалов и конструкций, что важно для надежности и долговечности объектов.

Композиционные материалы с заданными свойствами, созданные с использованием армирующих волокон, представляют собой важнейшее направление в дорожно-строительном материаловедении. Определенные успехи в этой области знаний уже получены для армированных цементно-бетонных композиций.

Заключение

В России ощущается явный недостаток ученых и научных школ, деятельность которых могла бы значительно улучшить сложившуюся ситуацию с реализацией инноваций в дорожном строительстве в условиях санкционных ограничений.

Изучение физико-химических механизмов, лежащих в основе взаимодействия между частицами дисперсной арматуры (фибры) и компонентами АБС, важно по нескольким причинам.

Во-первых, это необходимость понимания свойств армированных композиционных материалов. Компоненты композита (матрица и волокна (частицы)) находятся во взаимодействии, которым можно управлять для получения структуры материала с заданными свойствами.

Во-вторых, понимание средств оптимизации структуры и свойств АБС при установленных экспериментально или методами математического моделирования режимах введения волокон позволяет создать методологическую основу для широкого внедрения наилучших доступных технологий.

В-третьих, реализация возможности повышения эффективности дорожного строительства. Применение фибры для армирования вместо армирующей сетки/каркаса позволяет снизить затраты на строительство, сократить расход асфальтобетона. При этом автодороги, построенные с использованием надежного дисперсно-армированного покрытия, смогут выдерживать высокие транспортные нагрузки благодаря приобретению дополнительной жесткости и увеличению прочностных характеристик.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Васильев Ю.Э. и др.* Инновационные технологии в производстве асфальтобетонных смесей. Москва : МАДИ, 2016. 116 с. EDN: XQYGRD
2. *Игнатьев А.А.* Добавки в асфальтобетон. Обзор литературы // Известия КГАСУ. 2023. № 1 (63). С. 14–30. DOI: 10.52409/20731523_2023_1_14. EDN: EXDWYX
3. *Котлярский Э.В.* Повышение долговечности покрытий автомобильных дорог за счет оптимизации структуры асфальтобетонов : специальность 05.23.05: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Белгород, 2012. 45 с. EDN: SUUYWZ
4. *Гончарова М.А., Ткачева И.А.* Повышение прочности асфальтобетонных смесей для ремонта жестких дорожных конструкций // Строительные материалы. 2023. № 1–2. С. 33–37. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-810-1-2-33-37. EDN: WTQNXK
5. *Беляев К.В.* Пути повышения эксплуатационных свойств асфальтобетона // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных : сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Правительство Омской области ; Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). 2018. С. 416–422.
6. *Строев Д.А., Чан Н.Х., Горелов С.В.* Снижение интенсивности развития пластических деформаций с помощью дисперсного армирования дорожно-строительных материалов добавками минерального волокна // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 1 (30). С. 192–199. EDN: NDXCIP
7. *Талантова К., Толстенев С.* Композит-сталефибробетон в дорожном строительстве // Автомобильные дороги. 1999. №9. С. 24–26. EDN: ZDQSIX
8. *Пищеничных О.А., Пожидаева А.Л., Михайлук Д.С. и др.* Армирование асфальтобетонных смесей синтетическими волокнами // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2021. № 1 (147). С. 80–86. EDN: GNFBMG
9. *Пищеничных О.А., Скорик Д.С.* Опыт применения дисперсно-армированных асфальтобетонов в дорожном строительстве // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. № 1 (141). С. 121–127. EDN: NUQOOX
10. *Кетов А.И., Пугин К.Г.* Улучшение характеристик асфальтобетонных покрытий за счет их армирования // Химия. Экология. Урбанистика. 2024. Т. 3. С. 110–114. EDN: VFPIDL
11. *Андронов С.Ю., Задираха А.А., Диттер Е.Д.* Способ совместного дисперсного армирования асфальтобетона // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2019. № 1 (34). С. 14–20. EDN: MONDTE
12. *Белецкий А.В., Нироев Т.А.* Асфальтобетоны повышенной сдвигустойчивости с дисперсным армированием одно- и двухкомпонентной фиброй // Вестник Евразийской науки. 2024. Т. 16. № 5. EDN: VYFEUS. URL: <https://esj.today/PDF/26SAVN524.pdf>
13. *Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д.* Исследование изменений состояния и свойств волокон дисперсной арматуры в процессе строительства и эксплуатации асфальтобетонных покрытий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 3. С. 185–196. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-185-196. EDN: TQJNLC
14. *Бондарев Б.А., Карасева О.В., Струрова В.А., Ливенцева А.А.* Применение фибры Dramix производства компании Бекарт в строительстве // Современные проблемы материаловедения : сборник научных трудов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 65-летию ЛГТУ. Липецк, 2021. С. 340–342. EDN: MCPZFQ
15. *Пахомов И.А., Абайдуллина Т.Н.* Исследование свойств асфальтобетона, модифицированного полипропиленовым волокном // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 152–156. EDN: TQKGUX
16. *Пугин К.Г., Яконцева О.В., Салахова В.К.* Использование полимерных материалов в качестве структурного элемента в составе асфальтобетона // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. № 4. С. 29–36. DOI: 10.15593/24111678/2021.04.04. EDN: WPMJRS
17. *Jin D., Meyer T.K., Chen S., Ampaduboateng K., Pearce J.M., You Z.* Evaluation of lab performance of stamp sand and acrylonitrile styrene acrylate waste composites without asphalt as road surface materials // Construction and Building Materials. 2022. V. 338. P. 127569. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127569. EDN: VMITVO

18. *Jianmin Ma., Simon A.M.* Effect of recycled polyethylene terephthalate (PET) fiber on the fracture resistance of asphalt mixtures // Construction and Building Materials. 2022. V. 342. Part A. P. 127944. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127944. EDN: VQCWAS
19. *Пугин К.Г.* Повышение композиционной однородности асфальтобетонных смесей // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2025. № 1. С. 43–51. DOI: 10.15593/24111678/2025.01.04. EDN: TYQNZH
20. *Братчун В.И., Пшеничных О.А., Ромасюк Е.А. и др.* О формировании структуры адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего вещества на поверхности минеральных материалов дорожного асфальтобетона // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2022. № 1 (153). С. 114–121. EDN: VWEBYO
21. *Лукашевич В.Н.* Технология производства асфальтобетонных смесей, оптимизированная по критерию прочностных свойств асфальтобетона : специальность 05.23.08 : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Лукашевич Виктор Николаевич. Томск, 2001. 316 с. EDN: QDJWNB
22. *Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мокшин Р.И.* Преимущества структурообразования дисперсно-армированных органоминеральных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 142–150. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-142-150. EDN: AVVUNO
23. *Лукашевич В.Н., Ефанов И.Н.* Технология дисперсного армирования асфальтобетонных смесей волокнистыми сорбентами, направленная на улучшение свойств битума в адсорбционном слое за счет снижения интенсивности избирательной фильтрации его компонентов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2 (35). С. 197–201. EDN: OYATIT
24. *Братчун В.И., Беспалов В.Л., Пактер М.К., Ромасюк Е.А.* Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности. Донецк : ООО «НПП “Фолиант”», 2020. 244 с.
25. *Дедюхин А.Ю., Булдаков С.И.* Технология дисперсного армирования асфальтобетонных смесей волокнами хризотила // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 1 (13). С. 120–124. EDN: KFPXKV
26. *Дедюхин А.Ю.* Дисперсно-армированный асфальтобетон // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 1 (13). С. 116–120. EDN: KFPXKL
27. *Ефремов С.В., Лапченко А.С.* Влияние волокна на физико-механические и реологические свойства асфальтобетона // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2011. № 1 (87). С. 121–127. EDN: OLYHGX
28. *Лукашевич В.Н., Власов В.А., Лукашевич О.Д., Ефанов И.Н.* Исследования изменений показателей свойств волокон дисперсной арматуры в асфальтобетонных покрытиях под воздействием природно-климатических факторов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6 (65). С. 193–200. EDN: ZWJBFH
29. *Лукашевич В.Н., Ефанов И.Н., Прокофьева Г.И., Вакс И.В.* Исследования структурно-механических свойств дисперсно-армированных органоминеральных материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6 (53). С. 177–185. EDN: VAVLCJ
30. *Бусел А.В., Чистова Т.А., Наумовец А.Н.* Асфальтовяжущее на упрочняющих волокнистых компонентах // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 1. С. 106–109. EDN: YTRSOD
31. *Андронов С.Ю., Артеменко А.А., Кочетков А.В., Задирака А.А.* Влияние способа введения базальтовых волокон на физикомеханические показатели композиционных асфальтобетонных смесей // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 71–73. EDN: ZCSKZJ
32. *Андронов С.Ю., Алферов В.И., Кочетков А.В.* Совершенствование методов введения фиброполокон в горячие и холодные асфальтобетонные смеси // Вестник Евразийской науки. 2020. № 2. EDN: ROTYCR/ URL: <https://esj.today/PDF/72SAVN220.pdf>
33. *Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C.* Laboratory Evaluation on Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture // Materials & Design. 2015. V. 66. P. 51–59. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.10.033

34. *Muhammad Fawad Rashid, Naveed Ahmad, Ahtsham Ahmed.* The effect of using steel fiber on deformation. Resistance of asphalt concrete // 2nd Conference on Sustainability in Civil Engineering (CSCE'20) Department of Civil Engineering Capital University of Science and Technology. 2021.
35. *Пищеничных О.А., Оболенская Е.В., Волоцук А.В. и др.* Сравнительный анализ физико-механических свойств двух видов асбеста в качестве армирующего материала для асфальтобетонной смеси // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. 2024. Вып. 1 (165) С. 63–68. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2024/2024-1\(165\)/st_09_pschenichnyh_olenskaya_voloshuk_lunin_sheludyakov_zolotin.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2024/2024-1(165)/st_09_pschenichnyh_olenskaya_voloshuk_lunin_sheludyakov_zolotin.pdf) (дата обращения: 19.11.2025).
36. *Xiong R., Fang J., Xu A., Guan B., Liu Z.* Laboratory Investigation on the Brucite Fiber Reinforced Asphalt Binder and Asphalt Concrete // Construction and Building Materials. 2015. V. 83. P. 44–52. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.089
37. *Zarei M., Akbarinia F., Rahmani Z., et al.* Economical and technical study on the effect of carbon fiber with high strength on hot mix asphalt (HMA) // Electronic Journal of Structural Engineering. 2020. V. 20. P. 6–12. DOI: 10.56748/ejse.20240. EDN: KTZWVK
38. *Абдуллин А.И., Емельяновичева Е.А.* Использование технического углерода в качестве добавки к дорожным битумам // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 2. С. 275–278. EDN: RWUORJ
39. *Assan M., Rashid M., Danish A., Ahmed A.* The effect of using jute fiber on deformation resistance of asphalt concrete. 2021. 6 p.
40. *Geremew A., Jemal A.* The comparative study on the performance of bamboo fiber and sugarcane bagasse fiber as modifiers in asphalt concrete production // Heliyon. 2020. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09842. EDN: NUDQPI
41. *Hui Y., Yiran W., Junfu L., Mei X., Pengrui M., Jie Ji, Zhanping Y.* Review on Applications of Lignin in Pavement Engineering: A Recent Survey // Sec. Structural Materials. 2021 V. 8. 803524. DOI: 10.3389/fmats.2021.803524. EDN: CUYUOF
42. *Chen Z., Yi J., Chen Z., Feng D.* Properties of Asphalt Binder Modified by Corn Stalk Fiber // Constr. Build. Mater. 2019. V. 212. P. 225–235. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.329
43. *Abdullahi Ahmad Kabiru, Usman Nura, Masirin Mohd, Ahmed Anwar.* Reinforcement of Asphalt Concrete Mixture using Recycle Polyethylene Terephthalate Fibre // Indian Journal of Science and Technology. 2016. V. 9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107143
44. *Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C.* Laboratory Evaluation on Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture // Mater. Des. 2015. V. 66. P. 51–59. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.10.033
45. *Slebi-Acevedo C.J., Lastra-Gonzalez P., Castro-Fresno D., Bueno M.* An experimental laboratory study of fiber-reinforced asphalt mortars with polyolefin-aramid and polyacrylonitrile fibers // Construction and Building Materials. 2020. V. 248. 118622. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118622 EDN: RBRFZY
46. *Ласман И.А., Токар Н.И., Шкабаро Д.Ю. и др.* Синтетические волокна для дисперсного и пространственного армирования асфальтобетонного покрытия // Инновации в строительстве-2022 : материалы Международной научно-практической конференции, Брянск, 07–09 апреля 2022 г. Брянск : [Б. и.], 2022. С. 238–242. EDN: RSQFQW
47. *Kim M.-J., Kim S., Yoo D.-Y., Shin H.-O.* Enhancing Mechanical Properties of Asphalt Concrete Using Synthetic Fibers // Construction and Building Materials. 2018. V. 178. P. 233–243. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.070
48. *Пахомов И.А., Абайдуллина Т.Н.* Исследование свойств асфальтобетона, модифицированного полипропиленовым волокном // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 152–156. EDN: TQKGUX
49. *Андронов С.Ю.* Приготовление композиционной дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси с различными способами внесения фибры из полиакрилонитрильного волокна в смесь // Современные научно-исследовательские технологии. 2016. № 4-1. С. 9–13. EDN: VVXZGX
50. *Чернов С.А., Каклюгин А.В., Никитина А.Н., Голубин К.Д.* Влияние полимерно-дисперсноармирующей добавки на эксплуатационные свойства асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2017. Вып. 12. № 6 (105). С. 654–660. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.654-660. EDN: ZASZGZ

51. Андронов С.Ю., Задираха А.А., Трофименко Ю.А. Изучение влияния способа введения ПАН волокна на качество асфальтобетона // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2019. № 1 (34). С. 20–26. EDN: ENWFQQ
52. Ефанов Н.Е., Лукашевич В.Н., Пиряев И.В. Влияние технологии дисперсного армирования асфальтобетонных смесей на процессы их структурообразования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 1 (14). С. 204–209. EDN: JUCZET
53. Русаков М.Н., Исмаилов А.М. Стиrol-бутадиен-стирольные полимеры для дорожного строительства в Российской Федерации // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020. № 87. С. 1–13. DOI: 10.18720/CUBS.87.3. EDN: JUKKYD
54. Gao Y., Guo Q., Guo Y., Wu P., Meng W., Jia T. Investigation on Reinforced Mechanism of Fiber Reinforced Asphalt Concrete Based on Micromechanical Modeling // Advances in Materials Science and Engineering. 2017. Р. 1–12. DOI: 10.1155/2017/4768718
55. Черных Д.С., Стroeв Д.А., Батыров С.А. Влияние технологических параметров режима приготовления на свойства полимерно-дисперсно-армированных асфальтобетонов // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4 (43). С. 150. EDN: YJKTED
56. Насонова И.Г., Лира С.В. Технологическая стабильность щебеноно-мастичных асфальтобетонных смесей, армированных синтетическим волокном // Дороги и мосты. 2024. № 2 (52). С. 321–346. EDN: AXBJSW

REFERENCE

1. Vasil'ev Yu.E., et al. Innovative Technologies in the Production of Asphalt Concrete Mixtures. Moscow: MADI, 2016. 116 p. (In Russian)
2. Ignat'ev A.A. Additives to Asphalt Concrete. Literature Review. *Izvestiya KGASU*. 2023; 1 (63): 14–30. DOI: 10.52409/20731523_2023_1_14. EDN: EXDWYX (In Russian)
3. Kotlyarskii E.V. “Durability improvement of road surfaces through the optimization of asphalt concrete structure”. DSc Abstract, Belgorod, 2012. 45 p. (In Russian)
4. Goncharova M.A., Tkacheva I.A. Strength Improvement of Asphalt Concrete Mixtures for repair of Rigid Road Structures. *Stroitel'nye materialy*. 2023; (1–2): 33–37. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-810-1-2-33-37 (In Russian)
5. Belyaev K.V. Improvement of asphalt concrete performance characteristics. In: *Proc. 2nd Int. Sci. Conf. ‘Basic and Applied Research of Young Scientists’*. 2018. Pp. 416–422. (In Russian)
6. Stroev D.A., Chan N.Kh., Gorelov S.V. Intensity Reduction of Plastic Strain by Fiber Reinforcement of Road Construction Materials. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2011; 1 (30): 192–199. (In Russian)
7. Talantova K., Tolstenev S. Composite as steel fiber-reinforced concrete in road construction. *Avtomobil'nye dorogi*. 1999; (9): 24–26. (In Russian)
8. Pshenichnykh O.A., Pozhidaeva A.L., Mikhailyuk D.S., et al. Synthetic Fiber Reinforcement of Asphalt Concrete Mixtures. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2021; 1 (147): 80–86. (In Russian)
9. Pshenichnykh O.A., Skorik D.S. Experience in using Fiber-Reinforced Asphalt Concrete in Road Construction. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2020; 1 (141): 121–127. (In Russian)
10. Ketov A.I., Pugin K.G. Improvement of Asphalt Concrete Pavement Characteristics through Reinforcement. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika*. 2024; 3: 110–114. (In Russian)
11. Andronov S.Yu., Zadiraka A.A., Diter E.D. Method for Joint Fiber Reinforcement of Asphalt Concrete. *Tekhnicheskoe regulirovaniye v transportnom stroitel'stve*. 2019; 1 (34): 14–20. (In Russian)
12. Beletskii A.V., Nirov T.A. Asphalt Concrete with Increased Shear Resistance with Dispersed Reinforcement of Single- and Two-Component Fiber. *Vestnik evraziiskoi nauki*. 2024; 16 (5). Available: <https://esj.today/PDF/26SAVN524.pdf> (In Russian)
13. Lukashevich V.N., Lukashevich O.D. Modification of Conditions and Properties of Dispersed Reinforcing Fiber During Construction and Operation of Asphalt Concrete Pavements. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (3): 185–196. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-185-196. EDN: TQJNLC (In Russian)

14. Bondarev B.A., Karaseva O.V., Sturova V.A., Liventseva A.A. The use of dramix fibre manufactured by bekaert in construction. In: *Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. 'Modern Problems of Materials Science'*. Lipetsk, 2021. Pp. 340–342. EDN: MCPZQ (In Russian)
15. Pakhomov I.A., Abaidullina T.N. Properties of Asphalt Concrete Modified with Polypropylene Fibre. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2015; 1 (48): 152–156. (In Russian)
16. Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K. Polymer Materials as a Structural Element in Asphalt Concrete. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2021; (4): 29–36. (In Russian)
17. Jin D., Meyer T.K., Chen S., AmpaduBoateng K., Pearce J.M., You Z. Evaluation of Lab Performance of Stamp Sand and Acrylonitrile Styrene Acrylate Waste Composites without Asphalt as Road Surface Materials. *Construction and Building Materials*. 2022; 338: 127569. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127569. EDN: VMITVO
18. Jianmin Ma, Simon A.M. Effect of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Fiber on the Fracture Resistance of Asphalt Mixtures. *Construction and Building Materials*. 2022; 342 (5): 127944. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.127944
19. Pugin K.G. Improvement of Compositional Uniformity of Asphalt Concrete Mixtures. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2025; (1): 43–51. DOI: 10.15593/24111678/2025.01.04. EDN: TYQNQH (In Russian)
20. Bratchun V.I., Pshenichnykh O.A., Romasyuk E.A., et al. Structure Formation of Adsorption-Solvate Layers of Asphalt-Chrysotile Binder on Surface of Mineral Materials of Road Asphalt Concrete. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2022; 1(153): 114–121. EDN: VWEBYO (In Russian)
21. Lukashevich V.N. "Asphalt concrete mixture technology optimised according to its strength properties". DSc Thesis. Tomsk, 2001. 316 p. (In Russian)
22. Lukashevich V.N., Lukashevich O.D., Mokshin R.I. Structure Formation of Dispersion Hardened Organomineral Mixtures. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021; 23 (5): 142–150. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-142-150. EDN: AVVUNO (In Russian)
23. Lukashevich V.N., Efanov I.N. Fiber reinforcement Technology of Asphalt Concrete Mixtures with Fibrous Sorbents for Improving Bitumen Properties in Adsorption Layer by Reducing Selective Filtration Intensity of its Components. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012; 2 (35): 197–201. EDN: OYATIT (In Russian)
24. Bratchun V.I., Bespalov V.L., Pakter M.K., Romasyuk E.A. Theoretical and Experimental Principles for Producing Modified Road Asphalt Concrete with Increased Durability. Donetsk: "Foliant", 2020. 244 p. (In Russian)
25. Dedyukhin A.Yu., Buldakov S.I. Chrysotile Fiber Reinforcement of Asphalt Concrete Mixtures. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2009; 1 (13): 120–124. EDN: KFPXKV (In Russian)
26. Dedyukhin A.Yu. Fiber-Reinforced Asphalt Concrete. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2009; 1 (13): 116–120. (In Russian)
27. Efremov S.V., Lapchenko A.S. Fibre Effect on Physical, Mechanical and Rheological Properties of Asphalt Concrete. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2011; 1 (87): 121–127. EDN: OLYHGX (In Russian)
28. Lukashevich V.N., Vlasov V.A., Lukashevich O.D., Efanov I.N. Fiber Reinforcement Properties of Asphalt Pavements Under Natural and Climatic Conditions. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017; 6 (65): 193–200. EDN: ZWJBFH (In Russian)
29. Lukashevich V.N., Efanov I.N., Prokof'eva G.I., Vaks I.V. Investigations of Structural-Mechanical Properties of Fiber Reinforced Organo-Mineral Materials. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015; 6 (53): 177–185. (In Russian)
30. Busel A.V., Chistova T.A., Naumovets A.N. Asphalt Binders with Reinforcing Fibrous Components. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014; (1): 106–109. EDN: YTRSOD (In Russian)
31. Andronov S.Yu., Artemenko A.A., Kochetkov A.V., Zadiraka A.A. Influence of Basalt Fiber Addition on Physical and Mechanical Properties of Composite Asphalt Concrete Mixtures. *Stroitel'nye materialy*. 2017; (7): 71–73. (In Russian)

32. Andronov S.Yu., Alferov V.I., Kochetkov A.V. Improvement of Methods of Fiber Addition to Hot and Cold Asphalt Concrete Mixtures. *Vestnik Evraziiskoi nauki.* 2020; (2). Available: <https://esj.today/PDF/72SAVN220.pdf> (In Russian)
33. Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C. Laboratory Evaluation on Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture. *Materials and Design.* 2015; 66: 51–59. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.10.033
34. Muhammad Fawad Rashid, Naveed Ahmad, Ahtsham Ahmed. The effect of using steel fiber on deformation resistance of asphalt concrete. In: *Proc 2nd Conf. on Sustainability in Civil Engineering.* 2021.
35. Pshenichnykh O.A., Obolenskaya E.V., Voloshchuk A.V., et al. Comparative Analysis of Physical and Mechanical Properties of Two Asbestos Types as Reinforcing Material for Asphalt Concrete Mix. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury.* 2024; 1 (165): 63–68. Available: [https://donna.ru/publish_house/journals/vestnik/2024/2024-1\(165\)/st_09_pschenichnyh_obolenskaya_voloshuk_lunin_sheludyakov_zolotin.pdf](https://donna.ru/publish_house/journals/vestnik/2024/2024-1(165)/st_09_pschenichnyh_obolenskaya_voloshuk_lunin_sheludyakov_zolotin.pdf) (accessed November 19, 2025). (In Russian)
36. Xiong R., Fang J., Xu A., Guan B., Liu Z. Laboratory Investigation on the Brucite Fiber Reinforced Asphalt Binder and Asphalt Concrete. *Construction and Building Materials.* 2015; 83: 44–52. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.089
37. Zarei M., Akbarinia F., Rahmani Z., et al. Economical and Technical Study on the Effect of Carbon Fiber with High Strength on Hot Mix Asphalt (HMA). *Electronic Journal of Structural Engineering.* 2020; 20: 6–12. EDN: KTZWVK
38. Abdullin A.I., Emelyanycheva E.A. Use of Technical Carbon as an Additive to Road Bitumen. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta.* 2014; (2): 275–278. (In Russian)
39. Assan M., Rashid M., Danish A., Ahmed A. The Effect of Using Jute Fiber on Deformation Resistance of Asphalt Concrete. 2021; 1–6.
40. Geremew A., Jemal A. The Comparative Study on the Performance of Bamboo Fiber and Sugarcane Bagasse Fiber as Modifiers in Asphalt Concrete Production. *Heliyon.* 2020; 1–8. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09842
41. Hui Y., Yiran W., Junfu L., Mei X., Pengrui M., Jie Ji, Zhanping Y. Review on Applications of Lignin in Pavement Engineering: A Recent Survey. *Frontiers in Materials.* 2021; 8: 803524. DOI: 10.3389/fmats.2021.803524
42. Chen Z., Yi J., Chen Z., Feng, D. Properties of Asphalt Binder Modified by Corn Stalk Fiber. *Journal of Construction and Building Materials.* 2019; 212: 225–235. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.329
43. Abdullahi Ahmad Kabiru, Usman Nura, Masirin Mohd, Ahmed Anwar. Reinforcement of Asphalt Concrete Mixture using Recycle Polyethylene Terephthalate Fibre. *Indian Journal of Science and Technology.* 2016; 9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107143
44. Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C. Laboratory Evaluation on Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture. *Materials & Design.* 2015; 66: 51–59. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.10.033.
45. Slebi-Acevedo C.J., Lastra-Gonzalez P., Castro-Fresno D., Bueno M. An Experimental Laboratory Study of Fiber-Reinforced Asphalt Mortars with Polyolefin-Aramid and Polyacrylonitrile Fibers. *Construction and Building Materials.* 2020; 248, 118622. EDN: RBRFZY
46. Lasman I.A. Tokar N.I., Shkabaro D.Yu., et al. Synthetic fibres for dispersed and spatial reinforcement of asphalt concrete pavement. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Innovations in Construction-2022'.* Bryansk, 2022. Pp. 238–242. (In Russian)
47. Kim M.-J., Kim S., Yoo D.-Y., Shin H.-O. Enhancing Mechanical Properties of Asphalt Concrete using Synthetic Fibers. *Construction and Building Materials.* 2018; 178: 233–243. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.070
48. Pakhomov I.A., Abaidullina T.N. Asphalt Concrete Properties Modified with Polypropylene Fibre. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov.* 2015; 1 (48): 152–156. EDN: TQKGUX (In Russian)
49. Andronov S.Yu. Preparation of Composite Fiber-Reinforced Asphalt Concrete Mixture using Various Methods of Introducing Polyacrylonitrile Fibre into Mixture. *Sovremennye naukovedenie tekhnologii.* 2016; (4-1): 9–13. EDN :VVXZGX (In Russian)
50. Chernov S.A., Kaklyugin A.V., Nikitina A.N., Golyubin K.D. Influence of Polymer-Disperse Reinforcing Additives on Operational Properties of Asphalt Concrete. *Vestnik MGСU.* 2017; 12 (6 (105)): 654–660. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.654-660 (In Russian)

51. Andronov S.Yu., Zadiraka A.A., Trofimenko Yu.A. Influence of Introducing PAN Fibre on Asphalt Concrete Quality. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2019; 1 (34): 20–26. EDN: ENWFQQ (In Russian)
52. Efanov N.E., Lukashevich V.N., Piryaev I.V. Influence of Dispersed Reinforcement on Structure Formation in Asphalt Concrete Mixtures. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2007; 1 (14): 204–209. EDN: JUCZET (In Russian)
53. Rusakov M.N., Ismailov A.M. Styrene-Butadiene-Styrene Polymers for Road Construction in the Russian Federation. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii*. 2020; (87): 1–13. DOI: 10.18720/CUBS.87.3 (In Russian)
54. Gao Y., Guo Q., Guo Y., Wu P., Meng W., Jia T. Investigation on Reinforced Mechanism of Fiber Reinforced Asphalt Concrete Based on Micromechanical Modeling. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2017; 1–12. DOI: 10.1155/2017/4768718
55. Chernykh D.S., Stroev D.A., Batyrov S.A. Influence of Process Parameters on Polymer Fiber-Reinforced Asphalt-Concrete Properties. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2016; 4 (43): 150. EDN: YJKTED (In Russian)
56. Nasonova I.G., Lira S.V. Technological Stability of Crushed Stone-Mastic Asphalt Concrete Mixtures Reinforced with Synthetic Fibre. *Dorogi i mosty*. 2024; 2 (52): 321–346. EDN: AXBJSW (In Russian)

Сведения об авторах

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

Olga D. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, 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 05.11.2025
Одобрена после рецензирования 18.11.2025
Принята к публикации 20.11.2025

Submitted for publication 05.11.2025
Approved after review 18.11.2025
Accepted for publication 20.11.2025