

Н.И. ШЕСТАКОВ¹, Н.Д. АЛЕШИН¹, А.Д. МАКАРОВ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЫЛИ УНОСА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ

Аннотация. В современной строительной отрасли актуальна проблема поиска материалов с повышенной устойчивостью, которые обеспечивали бы минимальное экологическое воздействие при оптимальной экономической эффективности. С учетом глобальных трендов в области экологии и устойчивого развития акцентируется внимание на рециклинге и повторном использовании производственных отходов. Особый интерес представляет пылевидный материал, образующийся в процессе работы асфальтобетонных заводов. В рассматриваемой работе изучается потенциал интеграции такого типа отходов в качестве альтернативного строительного ресурса. Данная статья акцентирует внимание на неотложной необходимости адаптации принципов устойчивости в строительной практике, в частности, через интеграцию материалов, обладающих минимальным экологическим следом. Ключевым аспектом исследования является концепция рециклинга пылевидных отходов асфальтобетонного производства, что может способствовать оптимизации ресурсного потенциала и снижению экологической нагрузки на экосистему. В работе рассматриваются различные составы пыли, полученные на асфальтобетонных заводах разного принципа действия. Исследована морфология частиц и параметр битумоемкости. Установлено, что при замещении минерального порошка до 50% пылью уноса возможен существенный экологический и экономический эффект для дорожно-строительной отрасли.

Ключевые слова: пыль-уноса, асфальтобетонные смеси, минеральный порошок, экологическая безопасность, биопозитивность, дорожное строительство.

N.I. SHESTAKOV, N.D. ALESHIN, A.D. MAKAROV

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

RESOURCE POTENTIAL OF DUST ENTRAINMENT OF ASPHALT-CONCRETE PLANTS

Abstract. In the modern construction industry, the problem of finding materials with increased stability that would provide minimal environmental impact with optimal economic efficiency is urgent. Considering global trends in the field of ecology and sustainable development, attention is focused on recycling and reuse of industrial waste. Of particular interest is the pulverized material formed during the operation of asphalt concrete plants. In this paper, the potential of integrating this type of waste as an alternative construction resource is studied. This article focuses on the urgent need to adapt the principles of sustainability in construction practice through the integration of materials with minimal environmental footprint. The key aspect of the study is the concept of recycling of pulverized waste from asphalt concrete production, which can help optimize the resource potential and reduce the environmental burden on the ecosystem. The study examines various dust compositions obtained from asphalt plants of different operating principles. The morphology of particles and the bitumen capacity parameter were investigated. It was found that by replacing up to 50% of mineral powder with carry-over dust, there can be a significant environmental and economic impact for the road construction industry.

Keywords: entrainment dust, asphalt concrete mixtures, mineral powder, environmental safety, biopositivity, road construction.

Введение

Интенсивное развитие транспортной инфраструктуры Российской Федерации играет ключевую роль в обеспечении устойчивого экономического роста и социального развития страны. Этот процесс сопряжен с повышенным спросом на качественные дорожно-строительные материалы, в частности, на асфальтобетон.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), только за 2022 год было уложено около 165 миллионов квадратных метров асфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах России. Этот показатель является отражением объемов асфальтобетонных смесей, используемых в строительстве дорожной инфраструктуры страны. Этот быстрый темп строительства дорог свидетельствует о необходимости уделять особое внимание снабжению рынка качественными и долговечными материалами для дорожного строительства.

Однако следует отметить, что дорожные работы в России подвержены сезонным ограничениям, связанным с температурными условиями. Укладка асфальтобетонных смесей возможна только в определенных климатических условиях, что создает значительную нагрузку на производственные мощности заводов, производящих асфальтобетонные смеси. Это также может привести к временным задержкам и дефициту материалов для строительства дорожной инфраструктуры в некоторых регионах страны.

В свою очередь, Москва и Московская область, будучи одними из крупнейших центров экономической активности в России, обладают значительным числом стационарных асфальтобетонных заводов (рисунок 1). Эти заводы имеют производительность, варьирующуюся от 100 до 320 тонн в час и играют важную роль в обеспечении стройиндустрии асфальтобетонными смесями.

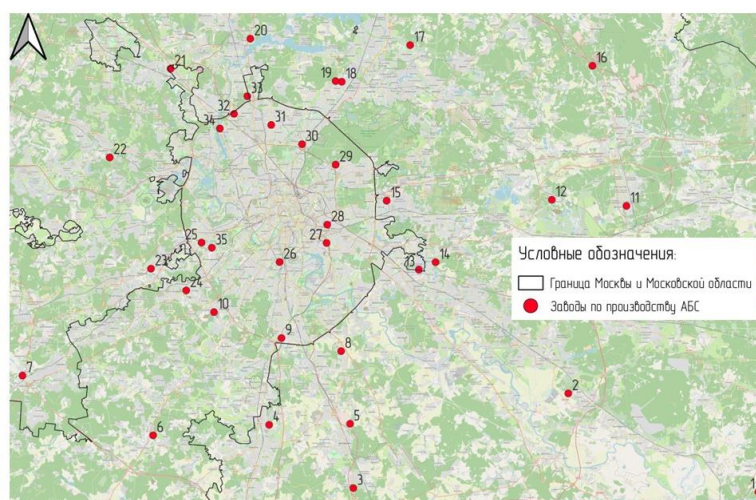


Рисунок 1 – Территориальное расположение заводов по производству асфальтобетонных смесей в Москве и Московской области

Равномерное географическое размещение асфальтобетонных заводов является оптимальным с точки зрения логистики доставки горячих асфальтобетонных смесей, что способствует сокращению времени и затрат на транспортировку, а также снижению проблем с транспортной инфраструктурой. Однако это размещение также приносит определенные негативные последствия для окружающей среды, в частности, образование центров экологической нагрузки.

Экологическое воздействие, связанное с асфальтобетонными заводами, имеет множество аспектов и источников. Одним из важных аспектов в современной практике производства асфальтобетонных смесей является использование отходов и рециклинг материалов [1-5], что значительно снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Одним из перспективных методов снижения экологической нагрузки является интеграция систем утилизации и переработки отходов в процесс производства

асфальтобетона. Этот подход позволяет эффективно использовать отходы, как сырьевые ресурсы для создания новых асфальтобетонных смесей. Это не только сокращает объемы отходов, направляемых на утилизацию и переработку, но и снижает потребность в добыче и переработке природных ресурсов, что является важным аспектом с точки зрения снижения экологической нагрузки. Научно обоснованный и экологически ориентированный подход к производству асфальтобетонных смесей, включая активное использование отходов, содействует снижению негативного воздействия на окружающую среду и обеспечивает устойчивость индустрии дорожного строительства.

Сушильные барабаны, применяемые в составе асфальтосмесительных установок, представляют собой источник интенсивного образования пыли, что ведет к формированию атмосферной загазованности и контаминации воздуха асфальтобетонными частицами на территории асфальтобетонного завода и в смежных районах. В процессе сушки и предварительной обработки инертных компонентов, происходит выделение пылевидных фракций, которые уносятся из сушильного барабана с потоком выходящих газов со скоростью, достигающей 10 м/с. Количество частиц, которое может быть перенесено при такой скорости, составляет приблизительно 6-8% от массы обрабатываемого минерального материала, что в свою очередь соответствует концентрации частиц в выбрасываемых газах на уровне 300-400 г/м³ [6,7].

Тем не менее, асфальтобетонные заводы, вырабатывают пыль как побочный продукт в процессе своей деятельности. Эта пыль, зачастую содержащая мельчайшие заполнители, остатки битума и минеральные добавки, традиционно рассматривается как отход и представляет потенциальную опасность для окружающей среды. Однако, если рассматривать эту пыль с точки зрения возможности ее переработки и вторичного использования, она может найти применение в производстве дорожно-строительных материалов.

Исследователи из разных областей науки изучали воздействие пыли, переносимой воздухом, на окружающую среду и здоровье человека. В работах, проведенных [8-10], анализировался канцерогенный потенциал конденсатов асфальтовых паров на моделях млекопитающих. Результаты исследований указывают на то, что определенные типы асфальтовых паров могут быть связаны с возникновением опухолей, хотя такие эффекты, скорее всего, связаны с парообразными компонентами битума, а не пылью, выделяемой в процессе работы асфальтобетонных заводов.

Таким образом, эффективное управление образованием и уносом пыли на асфальтобетонных заводах имеет важное значение для минимизации негативного воздействия на окружающую среду и обеспечения безопасности здоровья работников и населения вблизи таких предприятий.

В ряде научных статей [11-13] было установлено отрицательное воздействие деятельности асфальтобетонных заводов на риски ингаляции загрязненной почвы и ухудшение качества атмосферного воздуха. Параллельно, в исследовании, опубликованном в работе [14], осуществляется моделирование выбросов, выделяющихся из асфальтобетонных покрытий, включая разнообразные летучие вещества, включая пыль. Предложенная модель предоставляет ценные сведения о влиянии различных факторов на эти выбросы, что дает возможность более эффективно управлять уровнем экологического воздействия.

Кроме того, выбросы пыли с асфальтовых заводов и связанные с ними побочные продукты были подвергнуты анализу в ряде научных исследований [15-20] с целью выявления их потенциального воздействия на окружающую среду и здоровье человека. В существующей литературе выявлены проблемы, связанные с возможной канцерогенностью, респираторными эффектами и негативными последствиями для экосистем. Несмотря на имеющиеся данные, для формулирования окончательных выводов и разработки действенных мер по снижению рисков требуются дополнительные исследования и актуальные научные данные, которые будут учитывать текущий контекст и новейшие технологии в данной области.

Материалы и методы

В сфере производства асфальтобетонных смесей традиционно используют минеральный порошок в соответствии с ГОСТ 32761-2014, получаемый из карбонатных пород. Производство такого порошка обычно включает в себя процесс измельчения горных пород с получением удельной поверхности частиц в диапазоне от 1500 до 2000 см²/г. Этот процесс требует как разработки исходного сырья, так и затрат на его термическую обработку и измельчение. Однако такой комплексный технологический подход оказывает существенное негативное воздействие на окружающую среду и, следовательно, требует разработки более экологически устойчивых методов производства.

Распространенность использования минеральных порошков, основанных на карбонатных породах, связана с их способностью эффективно взаимодействовать с окисленными битумами и повышать адгезионные свойства асфальтового вяжущего к породам щебня. Тем не менее, эти высокофункциональные материалы требуют значительных энергетических и технологических затрат на их производство, что в свою очередь сопряжено с выбросами парниковых газов и другими негативными последствиями для окружающей среды.

Для уменьшения окружающего воздействия и разработки более биопозитивных подходов к производству асфальтобетонных смесей, актуальны исследования по поиску альтернативных материалов и технологий, которые могли бы заменить традиционные минеральные порошки. Эти новые подходы могут включать в себя использование более экологически устойчивых источников материалов, разработку эффективных методов их переработки и применение более эффективных способов взаимодействия с асфальтовым вяжущим.

В данной работе выбран минеральный порошок МП-1 в качестве контрольного образца, для проведения сравнительных анализов исследуемых материалов. С целью предоставления подробной информации о характеристиках контрольного образца, приведены результаты анализа его качественных показателей и химического состава по оксидам в соответствующих таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Показатели качества минерального порошка МП-1

Показатель	Единицы измерения	Полученные значения
Истинная плотность	г/см ³	2,84
Средняя плотность	г/см ³	2,31
Пористость	%	18
Набухание с битумом	%	1,9
Битумоемкость	г	60
Влажность	%	0,4

Таблица 2 – Химический состав минерального порошка МП-1

Содержание, % по массе					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CaCO ₃ +MgCO ₃
7,7	0,34	1,12	29,1	20,3	90,9

Диоксид кремния присутствует в относительно небольших количествах, что может указывать на низкую силикатность минерального порошка. Диоксид алюминия и диоксид железа также присутствуют в небольших количествах, что указывает на низкое влияние этих оксидов на свойства асфальтобетона.

Оксид кальция и оксид магния, составляют значительную долю химического состава. Они являются основными компонентами карбонатов кальция и магния, что в значительной степени влияет образование стабильной структуры получаемых на его основе асфальтобетонов и их характеристики.

Для изучения возможности замещения части минерального дисперсными отходами АБЗ в работе рассматриваются два вида пыли уноса с различных типов уловителей, согласно таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики рассматриваемых образцов пыли уноса

Обозначение	Тип пылеуловителя на АБЗ	Удельная поверхность, см ² /г	Применяемые породы инертных	Производимые материалы на АБЗ
ПАУ 1	Сухой рукавный фильтр	1970	Гранитный щебень	Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь; Полимер-асфальтобетонная смесь
ПАУ 2	Сухой циклонный	1640	Гравийный щебень	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь; Песчаная асфальтобетонная смеси

Для дальнейшего исследования был проведен химический элементный анализ с помощью растрового микроскопа с возможностью работы по поверхности материалов. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Сводная таблица элементного состава рассматриваемых вариантов пыли асфальтосушильных установок (ПАУ)

Полученное значение	Содержание элементов, %									
	O	Si	Fe	Al	K	Na	Ca	Mg	Ti	Mn
<i>Элементный состав ПАУ 1</i>										
Среднее	51,39	25,56	5,53	7,89	3,50	2,18	2,08	1,07	0,42	0,38
Станд. отклонение	2,16	2,88	4,89	0,86	1,02	1,74	1,16	0,74	0,33	0,19
<i>Элементный состав ПАУ 2</i>										
Среднее	48,76	21,04	10,79	7,84	3,12	1,41	3,12	3,15	0,78	-
Станд. отклонение	3,80	4,03	6,14	1,39	1,76	1,18	2,14	2,03	0,53	-

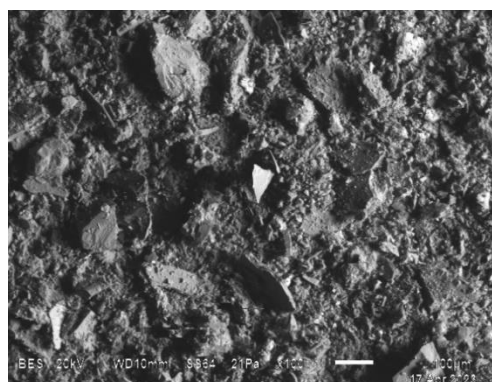
Кислород и кремний являются наиболее преобладающими в обоих образцах. Они часто встречаются в минералах, таких как кварц и фельдспат, что указывает на наличие кремнезема или других минералов на основе кремния в пыли.

Оба образца пыли уноса асфальтобетонного завода содержат похожие элементы, но их концентрации отличаются. Это может быть связано с различными источниками или условиями формирования пыли. Наиболее значительные различия наблюдаются в содержании железа, кальция и магния. Элементный анализ может помочь в понимании происхождения пыли и возможного воздействия на окружающую среду или здоровье человека.

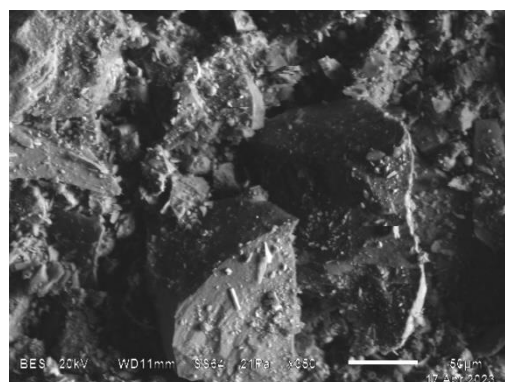
Результаты и обсуждение

Микроструктура частиц пыли уноса, получаемых на асфальтобетонных заводах, существенно влияет на физико-механические свойства производимых асфальтобетонных смесей. В контексте усиления требований к долговечности и качеству дорожных покрытий, анализ морфологии и микроструктуры таких частиц становится весьма актуальным. В связи с этим, были получены снимки поверхностей (рисунок 2) различных образцов пыли уноса с увеличением до 400 раз.

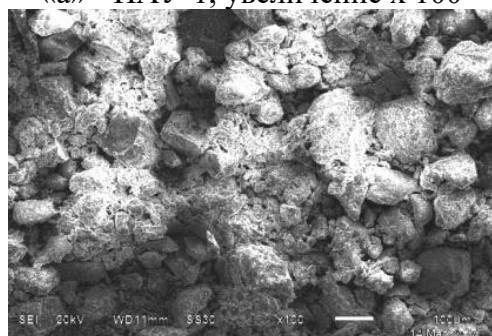
Данный анализ позволит не только глубже понять природу и характеристики используемых материалов, но и оптимизировать процесс производства, а также повысить качество готовой продукции.



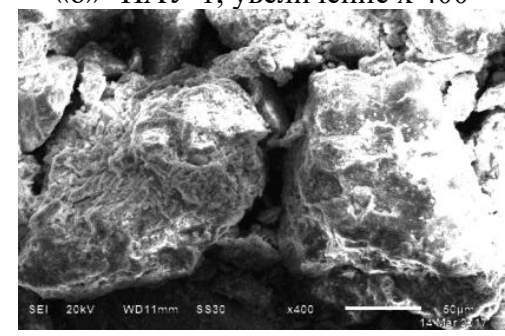
«а» - ПАУ-1, увеличение x 100



«б»- ПАУ-1, увеличение x 400



«в» - ПАУ-2, увеличение x 100



«г» - ПАУ-2, увеличение x 400

Рисунок 2 – Морфология поверхности исследуемых материалов

При изучении микроструктуры обоих материалов было выявлено, что ПАУ-1 обладает остроугольными элементами, что может быть связано с его гранитной основой, известной своей твердостью и характерной кристаллической структурой. С другой стороны, ПАУ-2 демонстрирует рыхло-зернистую микроструктуру с более окатанными гранями, что указывает на его гравийное происхождение, где элементы, как правило, более округлые из-за естественного износа.

Различия в микроструктуре наполнителей напрямую коррелируют с типом пылеуловителя и использованными для него инертными материалами. Эти различия в структуре, будут влиять на свойства и качество производимых в дальнейшем материалов.

Прочность асфальтобетона во многом зависит от количества и качества использованного битума. Оптимальное содержание битума обеспечивает необходимую связность между зернами, что способствует увеличению прочности при сжатии и устойчивости к растяжению. При недостатке битума смесь становится хрупкой и подвержена быстрому растрескиванию, а при избытке - мягче и менее устойчивой к деформациям.

Устойчивость асфальтобетонного покрытия к усталости зависит от способности смеси противостоять многократным нагрузкам без образования трещин. Оптимальное содержание битума улучшает эластичные свойства смеси, позволяя ей лучше сопротивляться деформациям под воздействием транспорта.

Битумоемкость асфальтобетонных смесей является одним из ключевых параметров, который влияет на качество и долговечность асфальтобетонного покрытия. Это показатель, характеризующий количество битума, необходимого для обеспечения оптимальной уплотненности и связности асфальтобетонной смеси. Для определения степени влияния пыли уноса на битумоемкость были проведены экспериментальные исследования по ГОСТ 32766 — 2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Порошок минеральный. Метод определения показателя битумоемкости» Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5- Сводная таблица показателя битумоемкости

№ состава	Содержание компонентов, %			Битумоемкость
	МП-1	ПАУ-1	ПАУ-2	
1	100	0	0	90,0
2	75	25	0	81,8
3	50	50	0	72,4
4	25	75	0	69,7
5	0	100	0	68,3
6	75	0	25	64,8
7	50	0	50	57,3
8	25	0	75	51,6
9	0	0	100	32,4

При 100% содержании МП-1 (без других добавок) битумоемкость составляет 90,0%. Это наивысший показатель в представленных данных. С уменьшением содержания МП-1 (от 100% до 0%) и одновременным увеличением содержания ПАУ-1 битумоемкость уменьшается, достигая 68,3% при 100% содержании ПАУ-1.

При замещении минерального порошка МП-1 на ПАУ-1 битумоемкость уменьшается до 68,3%, а при замещении на ПАУ-2 битумоемкость уменьшается еще сильнее, и достигает 32,4%. Таким образом, добавление ПАУ-1 уменьшает битумоемкость в сравнении с чистым МП-1, но этот компонент все равно обладает более высокой битумоемкостью по сравнению с ПАУ-2. ПАУ-2 существенно снижает битумоемкость, особенно при высоких концентрациях.

Битумоемкость играет решающую роль в определении свойств асфальтобетонных смесей. Правильный выбор содержания битума в смеси позволяет достичь оптимального баланса между прочностью, водонепроницаемостью и устойчивостью к усталости, что является ключом к созданию долговечного и качественного дорожного покрытия.

Для определения показателя экономии минерального порошка, рассмотрены составы АБС и ЩМА. Предлагается вариант с частичной заменой минерального порошка на пыль уноса до 50%. Ориентировочная дозировка минерального порошка для выбранных составов в различных диапазонах основывается на известных значениях, в зависимости от подбора составов смесей. Производительность асфальтобетонных заводов варьируется от 480 до 1040 тонн в смену. Расход минерального порошка для АБ заводов разной производительности представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Расход ПУ при частичном замещении минерального порошка

Вид асфальтобетонной смеси	Доля ПУ в составе МП, %	Расход ПУ при производительности АБЗ, т			
		480 т/см	720 т/см	840 т/см	1040 т/см
Смеси SMA и SP					
SMA-8 (Э), SP-8 (Э), SP-11(Н/Т)	25	8,4 – 13,2	12,6 – 19,8	14,7 – 23,1	18,2 – 28,6
	50	16,8 – 26,4	25,2 – 39,6	29,4 – 46,2	36,4 – 57,2
SMA-11 (Э), SP-16(Н/Т/Э)	25	9,6 – 14,4	14,4 – 21,6	16,8 – 25,2	20,8 – 31,2
	50	19,2 – 28,8	28,8 – 43,2	33,6 – 50,4	41,6 – 62,4

Таким образом путем замены от 25% до 50% минерального порошка пылью уноса, в зависимости от производительности АБЗ, можно значительно уменьшить стоимость применяемых дорожно-строительных материалов, в частности асфальтобетонов.

Выводы

С экологической точки зрения следует отметить многочисленные исследования, подтверждающие неблагоприятное воздействие выбросов асфальтобетонных заводов на окружающую среду и здоровье человека. Реализация методов ресайклинга позволяет перерабатывать часть производственных отходов, снижая тем самым экологический ущерб.

При анализе текущих тенденций и потребности в строительных материалах следует отметить экономическую целесообразность частичной замены минерального порошка. Применение вторичных производственных отходов способствует не только рациональному использованию природных ресурсов, но также предоставляет возможность генерации инновационного материала для модификации асфальтобетонных смесей.

Спектральный анализ двух образцов пыли уноса выявляет дифференциацию их химического состава, что свидетельствует о формировании данных образцов в различных условиях. Этот фактор может иметь значительное влияние на характеристики итоговой смеси. Микроскопические изображения микроструктуры образцов ПАУ-1 и ПАУ-2 показывают различия в морфологии частиц, что указывает на их различные физико-химические свойства.

Вместе с тем, использование пыли уноса способствует уменьшению экологического воздействия дорожного строительства. Вместо того, чтобы утилизировать или складировать такие материалы, их можно перерабатывать и использовать в конструктивных целях.

Таким образом, пыль уноса может предложить ряд технических, экономических и экологических преимуществ для дорожного строительства. Однако необходимы дополнительные исследования для определения оптимальных условий применения и понимания полного спектра её воздействия на свойства дорожных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакаева Н.В., Черняева И.В. Принципы оценки эффективности градостроительной деятельности в России // Экономика строительства и природопользования. 2022. № 1-2 (82-83). С. 134-144.
2. Воеводин Е.С., Акулов К.А., Катаев С.А., Асхабов А.М., Кашура А.С Роль автомобилизации в экологии городской среды // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. № 3. С. 5-13.
3. Голенков В.А., Бакаева Н.В., Шишкина И.В. Основные направления обеспечения экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства на основе биосферосовместимых технологий // Строительство и реконструкция. 2012. № 2 (40). С. 55-62.
4. Борисевич Ю. А., Абдрахманова К. А., Саморай Д. Н., Алиханова А. Н. Устойчивое развитие как основа модернизации жилой застройки // Строительство и реконструкция. 2022. № 4(102). С. 87-111. DOI 10.33979/2073-7416-2022-102-4-87-111. EDN OFXYTR.
5. Kapucu N., Ge Y., Martín Y. et al. Urban resilience for building a sustainable and safe environment // Urban Governance. 2021. Pp. 1-7.
6. Королев Е.В., Иноземцев С.С., Шеховцова С.Ю., Шестаков Н.И., Иноземцев А.С. Технология дорожных бетонов: учебное пособие для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 Строительство в 2 частях / Том 1. Москва, 2020.
7. Прилуцкая В.А. Проблемы экологии при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2017. № 4. С. 27.
8. Traxler, L. N., et al. Asphalt fume condensates produce a multiplicity of tumors in the A/J mouse // Journal of Applied Toxicology. 1995. 15(3), 197-204.
9. Манохин В.Я., Иванова И.А. Разработка методов повышения промышленной безопасности технологических процессов в смесителях асфальтобетонных заводов // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. Выпуск №3 (11).
10. Горохов С.С. Очистка пыли и отходящих газов на АБЗ // Мир дорог. 2019. № 118. С. 62-63.
11. Dungan R. S. Board-invited review: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures // Journal of Animal Science. 2010. 88(11), 3693-3706.

12. Menzie C. A. et al. The importance of considering soil ingestion exposure for wildlife: An example from the asphalt industry // *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2007. 13(2), 311-327.
13. Fulcher K. N. et al. Assessing the airborne particulate matter (PM_{2.5}) generated by two types of asphalt processes // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2009. 6(11), 678-687.
14. Ghosh R. et al. Occupational exposures among construction workers: Variations by work tasks, trades, and sites // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2013. 10(7), 366-375.
15. Wang C. et al. Emissions from asphalt pavement during construction: A predictive model // *Atmospheric Environment*. 2012. 55, 178-186.
16. Силкин В.В., Лупанов А.П., Рудакова В.В., Горохов С.С., Силкин А.В. Повышение экологической безопасности асфальтобетонных заводов // *Дороги и мосты*. 2019. № 1 (41). С. 273-292.
17. Лупанов А.П., Моисеева Н.Г., Гладышев Н.В. Выбросы загрязняющих веществ при производстве асфальтобетонных смесей и пути их снижения // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2013. № 4. С. 37-38.
18. Манохин В.Я., Иванова И.А., Головина Е.И. Безопасность технологических процессов просушивания и нагрева нерудных материалов асфальтобетона // *Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах*. 2022. № 1 (27). С. 138-143.
19. Манохин В.Я., Иванова И.А., Сазонова С.А. Разработка методов определения параметров рассеивания твердых атмосферных примесей // *Комплексная безопасность*. 2017. Т. 1. № 1. С. 27-30.
20. Чех Р.И., Куров Л.Н. Пути снижения пылевых выбросов на асфальтобетонных заводах // *Успехи современного естествознания*. 2011. № 7. С. 234-234

REFERENCES

1. Bakaeva N.V., Chernyaeva I.V. Principy ocenki effektivnosti gradostroitel'noj deyatel'nosti v Rossii. *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*. 2022. No. 1-2 (82-83). Pp. 134-144.
2. Voevodin E.S., Akulov K.A., Kataev S.A., Askhabov A.M., Kashura A.S. Rol' avtomobilizatsii v ekologii gorodskoy sredy. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2021. No. 3. Pp. 5-13.
3. Golenkov V.A., Bakaeva N.V., Shishkina I.V. Osnovnye napravleniya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnoj infrastruktury gorodskogo hozyajstva na osnove biosferosovmestimyh tekhnologij. *Building and Reconstruction*. 2012. No. 2 (40). Pp. 55-62.
4. Borisevich YU. A., Abdrahmanova K. A., Samoraj D. N., Alihanova A. N. Ustojchivoe razvitie kak osnova modernizatsii zhiloy zastrojki. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2022. No. 4(102). Pp. 87-111. DOI 10.33979/2073-7416-2022-102-4-87-111. EDN OFXYTR.
5. Kapucu N., Ge Y., Martin Y. Urban resilience for building a sustainable and safe environment. *Urban Governance*. 2021. Pp. 1-7.
6. Korolev E.V., Inozemcev S.S., Shekhovcova S.YU., Shestakov N.I., Inozemcev A.S. Tekhnologiya dorozhnyh betonov. uchebnoe posobie dlya obuchayushchihsya po napravleniyam podgotovki 08.03.01 i 08.04.01 Stroitel'stvo v 2 chastyah / Tom 1. Moskva, 2020.
7. Priluckaya V.A. Problemy ekologii pri stroitel'stve i ekspluatatsii avtomobil'nyh dorog. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tekhnologii Integral*. 2017. No. 4. Pp. 27.
8. Traxler L. N. et al. Asphalt fume condensates produce a multiplicity of tumors in the A/J mouse. *Journal of Applied Toxicology*. 1995. 15(3), 197-204.
9. Manohin V.YA., Ivanova I.A. Razrabotka metodov povysheniya promyshlennoj bezopasnosti tekhnologicheskikh processov v smesitelyah asfal'tobetonnyh zavodov. *Nauchnyj Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2008. Vypusk №3 (11).
10. Gorohov S.S. Ochistka pyli i otdyashchih gazov na ABZ. *Mir dorog*. 2019. No. 118. Pp. 62-63.
11. Dungan R. S. Board-invited review: Fate and transport of bioaerosols associated with livestock operations and manures. *Journal of Animal Science*. 2010. 88(11). Pp. 3693-3706.
12. Menzie C. A. et al. The importance of considering soil ingestion exposure for wildlife: An example from the asphalt industry. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2007. 13(2), 311-327.
13. Fulcher K. N., et al. (2009). Assessing the airborne particulate matter (PM_{2.5}) generated by two types of asphalt processes. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2009. 6(11). Pp. 678-687.
14. Ghosh R. et al. (2013). Occupational exposures among construction workers: Variations by work tasks, trades, and sites. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2013. 10(7), 366-375.
15. Wang C. et al. Emissions from asphalt pavement during construction: A predictive model. *Atmospheric Environment*. 2012. 55. Pp. 178-186.
16. Silkin V.V., Lupanov A.P., Rudakova V.V., Gorohov S.S., Silkin A.V. Povyschenie ekologicheskoy bezopasnosti asfal'tobetonnyh zavodov. *Dorogi i mosty*. 2019. No. 1 (41). Pp. 273-292.
17. Lupanov A.P., Moiseeva N.G., Gladyshev N.V. Vybrosty zagryaznyayushchih veshchestv pri proizvodstve asfal'tobetonnyh smesey i puti ih snizheniya. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. 2013. № 4. Pp. 37-38.

18. Manohin V.YA., Ivanova I.A., Golovina E.I. Bezopasnost' tekhnologicheskikh processov prosushivaniya i nagreva nerudnykh materialov asfal'tobetona. *Informacionnye tekhnologii v stroitel'nykh, social'nykh i ekonomicheskikh sistemakh*. 2022. No. 1 (27). Pp. 138-143.
19. Manohin V.YA., Ivanova I.A., Sazonova S.A. Razrabotka metodov opredeleniya parametrov rasseivaniya tverdykh atmosferynykh primesej. *Kompleksnaya bezopasnost'*. 2017. T. 1. No. 1. Pp. 27-30.
20. CHEkh R.I., Kurov L.N. Puti snizheniya pylevykh vybrosov na asfal'tobetonnykh zavodah. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2011. No. 7. Pp. 234-234

Информация об авторах:

Шестаков Николай Игоревич

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Градостроительства.
E-mail: SHestakovNI@mgsu.ru

Алешин Никита Дмитриевич

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
Студент института архитектуры и градостроительства.
E-mail: nik.aleshin.03@mail.ru

Макаров Алексей Денисович

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
Студент института архитектуры и градостроительства.
E-mail: Lesha-makarov-90@mail.ru

Information about authors:

Shestakov Nikolay I.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Urban Planning
E-mail: SHestakovNI@mgsu.ru

Aleshin Nikita D.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Student of the Faculty of Construction
E-mail: nik.aleshin.03@mail.ru

Makarov Aleksei D.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Student of the Faculty of Construction
E-mail: Lesha-makarov-90@mail.ru