

DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.10

УДК 625.7/.8.05

С.А. Евсеев, И.И. Овчинников

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ МУЗЫКАЛЬНЫХ ДОРОГ В РОССИИ

Одна из актуальных проблем в России – это низкое качество дорожного полотна и, как следствие, дорожно-транспортные происшествия с пострадавшими.

Целью настоящего исследования являются «музыкальные дороги», строительство которых приведет к снижению количества дорожно-транспортных происшествий, связанных с засыпанием за рулем уставших водителей. Автор предложил применить строительство «музыкальных дорог» и использовать инновационные технологии и материалы в дорожном строительстве в качестве решения проблем сохранения целостности дорожного покрытия. В статье содержится оценка технических и организационных возможностей применения углеродных материалов при проектировании «музыкальных дорог». Автор предположил причины, препятствующие появлению «музыкальных дорог» на асфальтированных автомобильных дорогах России и возможности их решения посредством расширения практики применения углеродных нанотрубок при создании асфальтобетона. Статья содержит данные о физико-химических, адгезивных свойствах асфальтобетона с добавлением углеродных нанотрубок.

Можно сделать вывод, что строительство «музыкальных дорог» поможет снизить уровень дорожно-транспортных происшествий, а применение нанотрубок в производстве асфальтобетона сделает дорожное полотно устойчивым к перепадам давления и повышенному механическому воздействию. Результат – увеличение срока эксплуатации дорожного полотна и экономия бюджета страны на ремонт автодорог.

Ключевые слова: нанотрубки, углеродный наноматериал, углеродные нанотрубки, музыкальные дорог, асфальтобетон, дорожно-транспортные происшествия, дорожное полотно.

В 2020 г. протяженность автомобильных дорог в России составляла 1553,66 тыс. км, из них 1096,4 тыс. км дорог с твердым покрытием. Рост автомобильной инфраструктуры связан со стремительным ростом общего парка легковых автомобилей¹. За 10 лет, с 2010 по 2020 гг., количество легковых автомобилей увеличилось на 30,8 %, с 34,4 до 45 млн единиц. Если говорить о количестве автомобилей на 1000 человек, то этот показатель поднялся с 240 до 307 автомобилей². В связи с более низкой стоимо-

¹ О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации 3363-р // Собрание законодательства Рос. Федерации от 13 декабря 2021, № 50 (ч. IV), ст. 8613.

² Там же.

стью владения автомобилем в России доля поездок населения на личном транспорте выше, чем в большинстве других стран.

Именно на автомобильный транспорт приходится 95 % пространства пассажирского транспорта в городах. Более 75 % дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с пострадавшими³. По статистике за 2021 г. в Российской Федерации произошло более 133 тыс. ДТП, из них с летальным исходом 14 874 человека, в том числе 554 – дети⁴.

Ещё одной актуальной проблемой транспортной сферы и дорожного строительства является низкое качество дорожного полотна, приводящее к разрушению дорог, повышению количества ДТП, увеличению скорости износа транспортных средств и постоянному росту расходов на ремонт и содержание автомобильных дорог. Так, в 2021 г. в рамках государственной программы «Развитие транспортной системы» на строительство и реконструкцию федеральных автомобильных дорог было заложено 167,4 млрд руб., а на капитальный и текущий ремонт, а также содержание – более 385 млрд руб.⁵

Одним из способов решения двух наиболее острых проблем российской автомобильной инфраструктуры – ДТП с пострадавшими и деформации дорожного полотна – является использование инновационных способов, технологий и материалов в дорожном строительстве. Об актуальности и общегосударственном значении данного подхода свидетельствует Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. (далее Стратегия)⁶. Данный документ предусматривает цифровую и низкоуглеродную трансформацию отрасли и ускоренное внедрение новых технологий, а также повышение безопасности в транспорте на дорогах и снижение смертности в ДТП.

Одним из инновационных подходов в дорожном строительстве, который мог бы существенно повысить результативность мер по обозначенным проблемам, является применение углеродных наноматериалов (нанотрубок). А также проектирование и строительство музыкальных дорог. Использование наноматериалов при проектировании музыкальных дорог дает качест-

³ О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года...

⁴ Показатели состояния безопасности дорожного движения. Официальный сайт Госавтоинспекции. – URL: <http://stat.gibdd.ru> (дата обращения: 10.05.2022).

⁵ Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»: постановление Правительства РФ от 20 декабря 2017 г. № 1596 // Собрание законодательства Рос. Федерации от 1 января 2018 г. № 1 (ч. II), ст. 340.

⁶ О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года...

венное долговечное асфальтовое покрытие на автодорогах страны, которое помогает водителям оставаться сконцентрированными на движении. Таким образом, целью статьи является изучение сущности, возможности и перспектив применения углеродных наноматериалов при проектировании музыкальных дорог в России как способа снижения риска ДТП.

Музыкальная дорога – это автомобильная дорога или её отрезок, обладающая специальной текстурой (рельефом) дорожного полотна, вызывающей тактильную вибрацию и звуковой шум в форме мелодии. Вибрация передается через колеса на кузов автомобиля, и находящиеся внутри транспортного средства водитель и пассажиры могут услышать музыкальную композицию [1]. На сегодняшний день музыкальные дороги есть во Франции, США, Японии, Индонезии, Южной Корее, Китае и других странах.

Основная задача музыкальной дороги – это снижение риска дорожно-транспортных происшествий, так как для того, чтобы услышать мелодию, водители должны проезжать участок строго на определенной скорости. Также музыкальные участки на трассах снижают аварии, связанные с грузоперевозками, когда водители, будучи много часов в пути, засыпают за рулем. Громкая мелодия позволяет вернуть концентрацию и заставить сосредоточиться на дороге.

Помимо такой прикладной функции, музыкальные дороги становятся достопримечательностью страны. Как правило, в дорожном полотне закодированы патриотические песни, например, в Альбукерке можно услышать «Америка прекрасная», на Хоккайдо звучит японская баллада «Miagete goran yogu no hoshi wo».

Базовыми дефинициями данной статьи являются «углеродные наноматериалы в дорожном строительстве» и «музыкальные дороги». Рассмотрим данные понятия подробнее, прежде всего само понятие наноматериала. В самом общем смысле наноматериалом является любой материал, размер которого составляет порядка нанометра ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) [1]. Таким образом, к наноматериалам мы относим молекулы, кластеры, частицы, зерна поликристаллов. Процесс создания наночастиц можно представить в виде схемы (рис. 1).

Однако было бы неправильно сводить понятие наноматериала только к размерному фактору, так как революционное значение наноматериалов, в том числе в дорожном строительстве, заключается в другом, а именно в возможности скачкообразного изменения свойств. Именно наносостояние занимает промежуточное положение между молекулярным и твердым,

в котором проявляются кооперативные эффекты. К числу наиболее перспективных наноматериалов относят углеродные нанотрубки (УНТ).

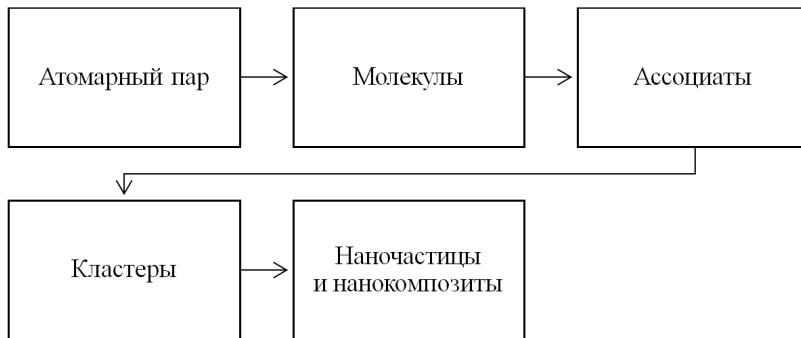


Рис. 1. Процесс создания наночастиц [2; 3]

Углеродные нанотрубки – это длинные, в несколько микрометров, полые цилиндры с диаметром до 120–150 нм. Их поверхность представляет собой закрученную в цилиндр графитовую плоскость, сформированную из правильных шестиугольников или гексогенов. В вершине каждого шестиугольника находится атом углерода (рис. 2).

УНТ могут иметь разную форму, исходя из структуры различаются и их физико-химические свойства, такие как способность выдерживать давление, устойчивость к механическим воздействиям и агрессивным средам. В контексте дорожного строительства важно подчеркнуть, что УНТ выдерживают давление на два порядка выше, чем любое другое волокно, а также обладают высокой химической и термической устойчивостью [4].

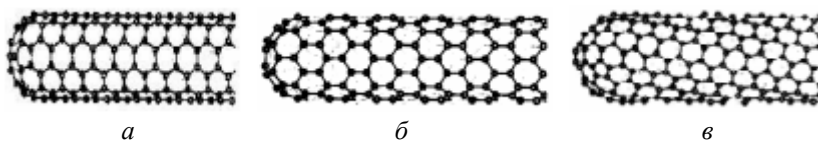


Рис. 2. Углеродные нанотрубки *a* – типа «кресло»;
б – типа «зигзаг»; *в* – хиральная УНТ

Применение нанотрубок такое же, как при армировании бетона с помощью дисперсных волокон (фибр): повышает прочностные характеристики. Упругая деформация как на сжатие, так и на растяжение, улучшенная адгезия, высокая прочность (больше, чем у стали в 20 раз [5]), стабильность, устойчивость к влаге – свойства, которые приобретает асфальтобетон, благодаря добавкам из УНТ. Основные свойства представлены в таблице [6].

Свойства углеродных нанотрубок

Свойства	Характеристики
Отношение длины к диаметру	60 (SWNT)
Площадь поверхности	~300 м ² /г (SWNT)
Плотность	Меньше (2,60 г/см ³ для MWNT)
Теплопроводность	350К-8К (SWCNT)
Относительное удлинение	100 % (на основе CNT – растягиваемый)
Модуль Юнга	1,25 ТПа (SWCNT), 0,9 ТПа (MWCNT)
Коэффициент ядовитости	0,6–0,55 (SWCNT)
Прочность на разрыв	75 ГПа (SWCNT) < 60 ГПа (MWCNT)
Прочность на сжатие	100–150 ГПа (MWCNT)

Вместе с увеличением срока службы дорожного покрытия уменьшаются расходы и на его содержание и обслуживание.

Казалось бы, проектирование и строительство музыкальных дорог не предполагает конструкционных сложностей, достаточно обеспечить правильный рельеф дорожного полотна, создав борозды и барьеры. Однако на практике это предполагает наличие прочного покрытия, не склонного к деформации и образованию трещин. Так как, во-первых, наличие ям и трещин нивелируют всю концепцию музыкальной дороги – мелодия будет нарушена, во-вторых, наличие специального профиля на дорожном полотне – это катализатор его разрушения, особенно если это скоростная дорога, федеральная трасса с большим потоком транспортных средств. Мы должны помнить, что асфальтобетон чувствителен к колебаниям температуры, уровню нагрузки, т.е. к скорости приложения механических усилий, реагентам, многим химическим веществам и даже простой воде.

Разрешить данную проблему позволяет применение нанотрубок, благодаря которым мы получаем асфальтобетон нового поколения с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Преимуществом в данном случае является также простая организация технологического процесса: нанотрубки можно смешивать как с холодным, так и с горячим битумом.

Ещё в начале 2000-х при помощи эксперимента было установлено, что незначительная добавка УНТ (0,005 %) в жидкий битум улучшает прочностные и упругие свойства дорожного полотна [7–13].

Отметим также высокие адгезионные свойства УНТ, которые обеспечивают сцепление битума и с песком, что, в свою очередь, является залогом долговечности и прочности асфальтобетона, что подтверждено патентом [16]. На сегодняшний день без добавления нанотрубок из-за недостаточной адгезии битума к зернам кварцевого песка, граниту срок службы асфальтобетона очень низкий.

В 2020 г. российская компания «ЭКО Групп» проложила первый в мире участок дорожного полотна с применением графеновых нанотрубок. Экспериментальные испытания компания проводила на федеральной трассе М4 «Дон». Эксперты модифицировали дорожный битум графеновыми нанотрубками Tuball, произведенными компанией «Роснано». Асфальтобетон, который содержит в составе битум с нанотрубками, имеет следующие характеристики: увеличение устойчивости к образованию колеи на 67 %; рост устойчивости к усталостному трещинообразованию на 67,5 % [14]. Экспертный совет при Министерстве транспорта РФ одобрил разработку компании для применения в строительстве дорог и отметил ее как инновационную.

Отметим, что УНТ имеют удельную поверхность материала примерно $600 \text{ м}^2/\text{г}$ [13]. В настоящее время этот показатель обеспечивает лучшие адгезионные свойства из известных на сегодня сорбентов, препятствуя растрескиванию, потере плотности и разрушению асфальтобетона.

Исследования, проведенные авторами [17], доказывают, что углеродные нанотрубки могут быть использованы в качестве модификаторов дорожных битумов. Введение в дорожный битум углеродных нанотрубок в количестве 2 % позволило получить органическое связующее с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Соответственно дорожное полотно, изготовленное с применением нанотрубок, может иметь рельефную поверхность музыкальных дорог, так как сможет выдерживать перепады давления и повышенное механическое воздействие. Кроме того, любое дорожное полотно, изготовленное с применением нанотрубок, будет экономически выгодно для бюджета страны, так как во много раз увеличивает срок эксплуатации дорожного полотна без его ремонта и замены. Сама технология введения углеродного наноматериала в асфальтобетон не нуждается в новом дорогостоящем оборудовании, так как процесс производства асфальтобетона заключается в смешивании всех составляющих в общем миксере [9].

Однако справедливости ради необходимо отметить, что мелодию на музыкальных дорогах можно услышать только при определенной скорости движения и отсутствии других машин на автодороге [15]. В противном случае создается просто шум от движения автомобиля.

Музыкальные дороги в некоторых странах, где транспортным управляют более законопослушные граждане, например Японии, действительно могут помочь снизить аварийность на дорогах в связи со снижением скорости (хотя они и так соблюдают скоростной режим). Но также могут просто раздражать из-за шума. Руководствуясь идеей и принципом музы-

кальных дорог с 2012 г. на российских дорогах реализована установка шумовых полос, при наезде на которые на большой скорости из-под колес выходит неприятный шум и водители волей-неволей притормаживают.

Выводы. Строительство музыкальных дорог, конечно, приведет к снижению количества дорожно-транспортных происшествий, так как внезапный шум под колёсами привлечет внимание даже уставшего и теряющего концентрацию водителя.

Введение нанотрубок в связующий материал асфальтобетона, как показали исследования, увеличивает долговечность асфальтового покрытия и продлевает срок его службы на многие годы без ремонта. И это успех введения инновационных технологий в дорожное строительство.

Но строительство именно музыкальных дорог нерационально. Установка шумовых полос на российских дорогах намного дешевле строительства музыкальных и не требует ни особых навыков, ни расчетов для создания мелодии.

Библиографический список

1. Engineering alumnus brings musical road to Auburn's campus [Электронный ресурс] // Auburn University. – URL: https://ocm.auburn.edu/newsroom/news_articles/2019/10/281559-war-eagle-road.php (дата обращения: 23.05.2022).
2. Fischer J.E. Carbon nanotubes: a nanostructured material for energy storage [Электронный ресурс] // Chemical Innovation. – 2000. – Vol. 30. – 21 p. – URL: <http://pubsapp.acs.org/subscribe/archive/ci/30/i10/html/10fischer.html?#10fischB1> (дата обращения: 23.05.2022).
3. Mechanical properties of asphalt concrete modified with carbon nanotubes (CNTs) / M.S. Eisa, A. Mohamady, M.E. Basiouny, A. Abdulhamid, J.R. Kim // Case Studies in Construction Materials. – 2022. – Vol. 16. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e00930
4. Мищенко С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
5. Щука А.А. Нанозлектроника. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.
6. Инновации в отрасли строительных материалов. Ч. 2 / О.Л. Фиговский, А.З. Штейнбок, Д.И. Шуваев, А.В. Волокитина // Химия, физика и механика материалов. – 2021. – № 1 (28). – С. 54–83.
7. Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки: строение, свойства, применения. – М.: Бином, 2011. – 488 с.
8. Елецкий А.В. Сорбционные свойства углеродных наноструктур // Успехи физических наук. – 2004. – Т. 174, № 11. – С. 1191–1231.
9. Запорожкова И.В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные структуры на их основе: строение и электронные свойства. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2009. – 490 с.
10. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. – М.: Техносфера, 2003. – 364 с.
11. Asphalt concrete based on a polymer-bitumen binder nanomodified with carbon nanotubes for road and airfield construction / Sh. Yang, A. Bieliatynskyi, V. Pershakov, M.M. Shao // Journal of Polymer Engineering. – 2022. – Vol. 42, no. 5. – P. 458–466. DOI: 10.1515/polyeng-2021-0345
12. Provatorova G., Vikhrev A. Modification of bitumen for road construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 27–28 April 2020. – Vladimir, 2020. DOI 10.1088/1757-899X/896/1/012088
13. Запорожкова И.В., Архарова И.В. Углеродные наноматериалы для дорожного строительства // Вестник ВолГУ. Серия 3: Экономика. – 2015. – № 1. – С. 103–109. DOI: 10.15688/jvolsu3.2015.1.10

14. РИА Новости [Электронный ресурс]: сайт. – URL: <https://ria.ru/20200117/1563562138.html> (дата обращения: 10.05.2022).

15. Портал Matador [Электронный ресурс]: сайт. – URL: <https://matador.tech/articles/pousie-dorogi-cudo-ili-kosmar-dla-mestnyh-zitelej> (дата обращения: 10.05.2022).

16. Способ упрочнения асфальтового дорожного покрытия углеродным наноматериалом: пат. Рос. Федерация / Запороцкова И.В., Сипливый Б.Н. № 2515007 С1; заявл. 04.02.13; опубл. 10.05.14, Бюл. № 13.

17. Le V.B., Le V.P. Determining optimum carbon nanotubes content for asphalt mixture in road pavements // *Advances in Nanocrystallization*. – 2021. – Vol. 1023. – P. 121–126. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.1023.121

References

1. Engineering alumnus brings musical road to Auburn’s campus. *Auburn University*, available at: https://ocm.auburn.edu/newsroom/news_articles/2019/10/281559-war-eagle-road.php (accessed 6 May 2022).

2. Fischer J.E. Carbon nanotubes: a nanostructured material for energy storage. *Chemical Innovation*, 2000, vol. 30, 21 p, available at: <http://pubsapp.acs.org/subscribe/archive/ci/30/i10/html/10fischer.html?#10fischB1> (accessed 23 May 2022).

3. Eisa M.S., Mohamady A., Basiouny M.E., Abdulhamid A., Kim J.R. Mechanical properties of asphalt concrete modified with carbon nanotubes (CNTs). *Case Studies in Construction Materials*, 2022, vol. 16. DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e00930

4. Mishchenko S.V., Tkachev A.G. Uglерodnye nanomaterialy. Proizvodstvo, svoistva, primeneniye. [Carbon nanomaterials. Production, properties application]. Moscow, Mashinostroeniye, 2008, 320 p.

5. Shchuka A.A. Nanoelektronika [Nanoelectronics]. Moscow, Fizmatkniga, 2007, 464 p.

6. Figovsky O.L., Shteinbock A.Z., Shuvaev D.I., Volokitina A.V. Innovatsii v otrasli stroitel'nykh materialov. Chast' 2 [Innovations in the construction materials industry. Part 2]. *Khimiya, fizika i mekhanika materialov*, 2021, no. 1(28), pp. 54-83.

7. D'yachkov P.N. Uglерodnye nanotrubki: stroeniye, svoistva, primeneniya. [Carbon nanotubes: structure, properties, applications]. Moscow, Binom, 2011, 488 p.

8. Eletskii A.V. Sorbtionnyye svoistva uglерodnykh nanostruktur [Sorption properties of carbon nanostructures]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2004, vol. 174, no. 11, pp. 1191-1231.

9. Zaporotskova I.V. Uglерodnye i neuglерodnye nanomaterialy i kompozitnyye struktury na ikh osnove: stroeniye i elektronnyye svoistva. [Carbon and non-carbon nanomaterials and composite structures based on them: structure and electronic properties.]. Volgograd, Volgograd State University, 2009, 490 p.

10. Kharris P. Uglерodnye nanotruby i rodstvennyye struktury. Novyye materialy XXI veka. [Carbon nanotubes and related structures. New materials of the XXI century] Moscow, Tekhnosfera, 2003, 364 p.

11. Yang Sh., Bieliatynskiy A., Pershakov V, Shao M, M. Asphalt concrete based on a polymer-bitumen binder nanomodified with carbon nanotubes for road and airfield construction. *Journal of Polymer Engineering*, 2022, vol. 42, no. 5, pp. 458-466. DOI: 10.1515/polyeng-2021-0345

12. Provatorova G., Vikhrev A. Modification of bitumen for road construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 27–28 April, Vladimir, 2020. DOI 10.1088/1757-899X/896/1/012088

13. Zaporotskova I.V., Arkharova I.V. Uglерodnye nanomaterialy dlya dorozhnogo stroitel'stva [Carbon nanomaterials for road construction]. *Journal of Volgograd State University. Economics*, 2015, no. 1, pp. 103-109. DOI: 10.15688/jvolsu3.2015.1.10

14. РИА Новости [RIA News], available at: <https://ria.ru/20200117/1563562138.html> (accessed 6 May 2022)

15. Portal Matador, available at: <https://matador.tech/articles/pousie-dorogi-cudo-ili-kosmar-dla-mestnyh-zitelej> (accessed 20 May 2022).

16. Zaporotskova I.V., Sipliviy B.N. Sposob uprochneniya asfal'tovogo dorozhnogo pokrytiya uglерodnym nanomaterialom [A method for hardening an asphalt road surface with a carbon nanomaterial]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2515007 C1 (2014).

17. Le V.B., Le V.P. Determining optimum carbon nanotubes content for asphalt mixture in road pavements. *Advances in Nanocrystallization*, 2021, vol. 1023, pp. 121-126. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.1023.121

S. Evseev, I. Ovchinnikov

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF USING NANOMODIFIED ASPHALT CONCRETE IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF MUSIC ROADS IN RUSSIA

One of the urgent problems in Russia is the poor quality of the roadway and, as a result, traffic accidents with victims.

The aim of this study is “music roads”, the construction of which will lead to a decrease in the number of traffic accidents associated with falling asleep at the wheel of tired drivers.

The article contains an assessment of the technical and organizational possibilities of using carbon materials in the design of musical roads in Russia as a way to reduce the risk of accidents. The author suggested the reasons preventing the appearance of “musical roads” and the possibility of their solution through the use of carbon nanotubes in the creation of asphalt concrete. The article contains data on the physicochemical, adhesive properties of asphalt concrete with the addition of carbon nanotubes.

The author in his article proposed to apply the construction of “musical roads” and use innovative technologies and materials in road construction as a solution to the problems of maintaining the integrity of the road surface.

The construction of “musical roads” will help reduce the level of accidents on the roads. Carbon nanotubes in the production of asphalt concrete will make the roadway several times stronger. As a result, an increase in the life of the roadway and savings in the country's budget for road repairs.

The first experimental section of the musical road in Russia was built in 2020. The world's first musical road was Asphaltophone in Denmark.

Keywords: nanotubes, carbon nanomaterial, carbon nanotubes, musical roads, asphalt concrete pavements, traffic accidents.

Евсеев Сергей Анатольевич (Тюмень, Россия) – студент магистратуры, Тюменский индустриальный университет (Тюмень, 625000, ул. Володарского, 38, e-mail: Serbajo72@gmail.com).

Овчинников Илья Игоревич (Тюмень, Россия) – кандидат технических наук, доцент, Тюменский индустриальный университет (Тюмень, 625000, ул. Володарского, 38).

Sergey Evseev (Tyumen, Russian Federation) – Graduate Student, Industrial University of Tyumen (38, Volodarskogo str., 625000, Tyumen, e-mail: Serbajo72@gmail.com).

Ilya Ovchinnikov (Tyumen, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Industrial University of Tyumen (38, Volodarskogo str., 625000, Tyumen).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Поступила: 17.06.2022

Одобрена: 27.07.2022

Принята к публикации: 30.08.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Евсеев, С.А. Анализ эффективности применения наномодифицированного асфальтобетона при проектировании и строительстве музыкальных дорог в России / С.А. Евсеев, И.И. Овчинников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 2. – С. 108–117. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.10

Please cite this article in English as: Evseev S., Ovchinnikov I. Analysis of the effectiveness of using nanomodified asphalt concrete in the design and construction of music roads in Russia. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2022, no. 2, pp. 108-117. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.02.10