DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-3-65-71

*Имад Али Аль-Шалаут,
Зарка университет, Иордания,
Высоцкая М.А. *, кандидат технических наук, доцент,
Кузнецов Д.А., кандидат технических наук, доцент,
Курлыкина А.В.,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия*
*Ответственный автор E-mail: roruri@rambler.ru

НАПРАВЛЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ НАНОУГЛЕРОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Аннотация: направленное регулирование свойств асфальтобетона – важное условие получения долговечного материала, минимизирующее эксплуатационные издержки в процессе службы дорожного покрытия. Одним из таких перспективных направлений является модифицирование строительных композиций первичными углеродными наноразмерными объектами. В работе рассмотрен способ модифицирования минерального порошка из доломита углеродными нанотрубками, и приведены результаты испытаний асфальтобетона на его основе. Показано, что при использовании наномодифицированного дисперсного доломита в технологии приготовления асфальтобетонной смеси на поверхности зерен минерального материала образуется прочный, устойчивый к высоким температурам слой из структурированного битума. Увеличение динамической вязкости битума и комплексного модуля сдвига под воздействием УНТ способствует изменению предела текучести асфальтобетона выше уровня максимальных касательных напряжений, что приводит к незначительному накоплению остаточных пластических деформаций в плите, выполненной из такого материала, при исследовании колееустойкости. Таким образом, модифицирование битумов и асфальтобетонов наноразмерными добавками, может являться эффективным инструментом в борьбе с пластическими деформациями такими как сдвиги, наплывы и колееобразование в жарких климатических условиях, например, в условиях Иордании.

Ключевые слова: битум, асфальтобетон, УНТ, нанодоломит

Введение

Из всех направлений строительного сектора экономики одним из самых материало- и энергоемких является дорожное строительство. При этом стоит отметить, что дорожная конструкция с точки зрения преждевременных отказов при эксплуатации также находится в «передовиках». Поэтому, главным направлением технической политики в области композитов на органических вяжущих, реализуемой в отрасли, стала четкая ориентация на повышение уровня качества применяемых битумов и асфальтобетонов.

Современный уровень техники предлагает ряд стандартных решений, позволяющих минимизировать негативное влияние окружающей среды на покрытие автомобильной дороги. Так если регион отличается влажным климатом, рекомендуется использование ПАВ в технологии приготовления асфальтобетонов [1], в случае высоких положительных температур – полимерные модификаторы битума, добавки на основе резины, армирование волокнами [2, 3]. В соответствии с мировыми тенденциями, особую популярность приобретают технологии, связанные с модифицированием строительных композиций наноразмерными объектами [4, 5]. Подобные приемы управления качеством материалов на наноуровне нацелены на расширение уникального набора показателей свойств в заданном векторе.

Анализ публикаций [4-14] позволяет предположить, что модифицирование битумов и асфальтобетонов наноразмерными добавками, может являться эффективным инструментом в борьбе с пластическими деформациями такими как сдвиги, наплывы и колееобразование.

Рассмотрим правомерность подобного предположения на примере доломита, активированного наноразмерными объектами, для условий Иордании. Рассматриваемый регион характеризуется сухим средиземноморским климатом. Летом на контрасте с жаркими днями, воздух прогревается в среднем до + 40⁰С, бывают довольно прохладные ночи, зимой возможен резкий переход с комфортного дневного температурного режима к ночным заморозкам [15].

Методы и материалы

Особенности климата выдвигают определённые требования к используемым в регионе битумам, поэтому широко используемой маркой является 60/70, что соответствует Российской марке битума по ГОСТ 33133 [16] 50/70, свойства которого представлены в табл. 1 и 2.

Также объектом исследования выступал доломит, осадочная карбонатная горная порода, используемая в дорожном строительстве Иордании. Показатели свойств породы: средняя плотность 2570 кг/м³, пористость

Mag = 30.00 kX 200 nm
WD = 4.3 mm DHT = 20.00 kV
FEI Imaging = SEM FEI Lock Magn = No Signal A = HiLens Core 16 Nov 2020/Time: 16:10:09
Beam Deflection = Post-Acq FEI Probe = SPM-200 ASD-System Vacuum = 1.75e-05 Torr

Fig. 1. Microstructure image of carbon nanotubes CNT “Taunit”

Об эффективности приготовленного вяжущего судили по стандартным физико-механическим показателям асфальтобетона. Для этого предварительно была подобрана асфальтобетонная смесь типа Б марки I.

Физико-механические показатели вяжущего

Table 1

Physical and mechanical properties of the binder

Наименование показателей	ГОСТ 33133	Фактические результаты	
		битум БНД 50/70	битум + нанодоломит
1	2	3	4
Глубина проникания иглы 0,1 мм, при 25°C при 0°C	>51-70 >18	67 19	52 15
Растяжимость, см, при 25°C при 0°C	>60 >3,5	75 3,7	45 1,5
Максимальное усилие при растяжении, Н, при температуре, при 25°C при 0°C	- -	1,9 158	- -
Температура размягчения, °C	> 51	52,5	58
Температура хрупкости, °C	> - 16	-17	-
Динамическая вязкость, Па•с, при 60°C, Условие 1	-	324,5	401,1
Изменение динамической вязкости после сдвигового воздействия, Па•с, при 60°C, Условие 2	-	12,97	-
Испытания после старения по методу RTFOT			
Изменение массы образца после старения, %	> 0,6	0,2	0,1
Изменение температура размягчения, °C, после старения	> 7	6,2	4
Динамическая вязкость после старения, Па•с, при 60°C, Условие 1	-	867,11	-
Изменение динамической вязкости после сдвигового воздействия, после старения Па•с, при 60°C, Условие 2	-	24,72	-

Результаты и обсуждения

Ключевая проблема при работе с нанообъектами, это сложность равномерного их распределения в объёме модифицируемого композита.

Как известно, пористость минеральных материалов оказывает большое влияние на характер связей, возникающих между структурными элементами асфальтобетона. Микропоры наполнителя отличаются довольно высоким адсорбционным потенциалом, благодаря чему в них сорбируется значительная часть поверхностно-активных компонентов битума. Поэтому, можно предположить, что вовлекая искусственно, за счет наноактивации, внутреннюю поровую площадь дисперсного наполнителя в процессы взаимодействия с битумом, можно качественно повысить ожидаемый эффект.

В представленной работе, за основу агента-носителя УНТ был принят пористый доломит. На его основе был получен наноактивированный микронаполнитель. Для его активации готовилась водная суспензия, состоящая из водной среды, водорастворимого ПАВ и углеродных нанотрубок Таунит. Концентрация раствора приготавливалась исходя из того, что содержание первичных нанообъектов в пересчете на сухое вещество должно составлять $5 \times 10^{-4}\%$ от массы битума. Распределение нанотрубок выполнялось в водной среде посредством ультразвукового оборудования в течение 5 мин. После чего суспензия распылялась по поверхности минерального материала.

Объединённая система помещалась в сушильный шкаф до полного высыхания, после чего измельчалась в шаровой планетарной мельнице до удельной поверхности $250 \text{ м}^2/\text{кг}$. Измельчение активированного материала – первый и самый логичный прием, позволяющий максимально раскрыть потенциал минерального материала, посредством обнажения активных центров, расположенных на его поверхности. Полученный наноактивированный наполнитель представлен на рис. 2.

Рис. 2. Наномодифицированный дисперсный доломит

Fig. 2. Nanomodified dispersed dolomite

Показатель дисперсности играет важную роль во взаимодействии бинарной системы «битум – минеральный наполнитель». Чем выше дисперсность наполнителя, тем в большей мере происходит взаимодействие с битумом, в результате чего образуется высокоструктурированная бинарная система. Для оценки структурирующей способности приготовленный наномодифицированный микронаполнитель объединялся с битумом и перемешивался. Содержание минеральной части в битуме составляло 5%. Полученная композиция испытывалась в соответствии с методиками применимыми к органическим вяжущим по ГОСТ [16] и ПНСТ [18]. Полученные данные представлены в табл. 1, 2.

Таблица 2

Реологические показатели вяжущего

Table 2

Rheological indicators of the binder

Наименование вяжущего	Динамическая вязкость, Па·с		Комплексный модуль сдвига до старения, °C	Изм. массы, %	Комплексный модуль сдвига после старения RTFOT, °C
	135°C	165°C			
1	2	3	4	5	6
БНД 50/70	0,589	0,156	62,1	0,34	57,5
БНД 50/70 + доломит	1,508	0,362	65,3	0,32	60,2
БНД 50/70 + нанодоломит	1,880	0,408	72,1	0,24	68,4

Как видно, дисперсный наномодифицированный доломит оказывает заметное структурирующее воздействие на битум, таким образом, можно предположить, что асфальтобетон на его основе будет отличаться повышенной теплостойкостью.

Обоснование предположения реализовывалось посредством изучения физико-механических характеристик асфальтобетона, приготовленного с использованием наномодифицированного доломита, а также колееустойкости композита. Для этого была подобрана асфальтобетонная смесь типа Б с содержанием битума 5,7%.

Показатели свойств асфальтобетона представлены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-механические показатели асфальтобетона типа Б марки I

Table 3

Physical and mechanical properties of type I asphalt concrete grade B

Показатели свойств асфальтобетона	ГОСТ 9128-2013	Фактические показатели, составы асфальтобетонов	
		битум	битум + нанодоломит
1	2	3	4
Водонасыщение, %	от 1,5 до 4,0	1,87	1,6
Средняя плотность, г/см ³	–	2,41	2,41
Пористость минеральной части, %	14-19%	17,2	17,0
Предел прочности при сжатии, МПа при температуре: +20°C +50°C 0°C	не менее 2,5 не менее 1,3 не более 13,0	2,54 1,44 9,2	3,92 2,75 8,7
Водостойкость	не менее 0,85	0,90	1,0
Длительная водостойкость	-	0,78	0,95
Сдвигоустойчивость по: -коэффициенту внутреннего трения tg φ -сцеплению при сдвиге при -температуре +50 С	не менее 0,83 не менее 0,38	0,92 0,61	1,04 0,87

В работе для оценки влияния наноактивированного дисперсного доломита на теплостойкость композита были выбраны требования, соответствующие V ДКЗ, для которой характерны повышенные летние температуры.

Использование наномодифицированного дисперсного доломита в составе композита способствует значительному повышению водостойкости и деформативной устойчивости асфальтобетона. Показатель водостойкости у образцов из серии «битум + нанодоломит», без использования дополнительных адгезионных добавок составил 1,0. Длительное пребывание в воде в течение 15 суток снизило рассматриваемый показатель на 5%, в то время как на рядовом битуме, снижение длительной водостойкости составило 14%. Можно предположить, что причины, по которым наблюдается приrost прочностных показателей образцов асфальтобетона, приготовленного с использованием наномодифицированного наполнителя связаны с наноармированием системы. Очевидно, при объединении наномодифицированного доломита и битума на границе их раздела протекают процессы физико-химического взаимодействия, которые ведут к образованию адсорбционно-сольватного слоя вокруг крупных минеральных частиц, за которым следует свободный битум. Уплотнение смеси способствует сближению частиц щебеночного каркаса, контактирующих по адсорбционно-сольватным оболочкам рамированного битума, обладающего повышенной вязкостью. Об этом также свидетельствует изменение сдвигоустойчивости асфальтобетона. Как видно, табл. 3, при введении наномодифицированного доломита, наблюдается увеличение предела текучести, который в технической литературе отождествляется с упругой составляющей сопротивления сдвигу.

Анализ полученных данных показывает, что с введением наномодифицированного доломита в состав асфальтобетона наблюдается положительная динамика изменения его высокотемпературных свойств, что согласуется с данными по показателю температуры размягчения битума, табл. 1 и динамической вязкостью системы, табл. 2.

Наиболее наглядным методом оценки процессов структурообразования в асфальтобетоне является изучение способности композита сопротивляться деформациям и разрушению. Подобный подход обусловлен тем, что структура асфальтобетона зависит от реологических свойств вяжущего вещества, таких как вязкость, упругость и пластичность. Именно они, в большей степени, определяют усталостную прочность и долговечность материала. Учитывая тот факт, что асфальтобетон относится к термочувствительным композиционным материалам, испытывающим системную динамическую нагрузку, ключевой разрушающей деформацией будет являться воздействие колеса автотранспорта при высоких летних температурах. А способность материала ей сопротивляться характеризоваться колееустойчивостью.

В работе определение колееустойчивости асфальтобетонов базового состава и с содержанием наномодифицированного доломита выполняли на лабораторной установке InfraTest 20-4000. Температура испытания составляла 60°C. За критерий оценки колееустойчивости, была принята глубина колеи, соответствующая 20000 прохода колеса.

Полученные результаты измерения глубины колеи представлены на рис. 3.

Рис. 3. Влияние наномодифицированного доломита на колееустойчивость асфальтобетона

Fig. 3. Effect of nanomodified dolomite on the track resistance of asphalt concrete

Как и в случае с оценкой показателей свойств асфальтобетона при повышенных температурах, табл. 2, большей стойкостью к образованию колеи характеризуются образцы-плиты, приготовленные с использованием наномодифицированного доломита. Для них глубина колеи после 20000 проходов в 1,5 раза, меньше, чем на образцах асфальтобетона базового состава.

Выводы

Сдвигоустойчивость асфальтобетона определяется статическим и динамическим пределами текучести, обусловленными коагуляционной структурой битумных пленок. Сопоставление полученных данных позволяет заключить, что при использовании наномодифицированного дисперсного доломита в технологии приготовления асфальтобетонной смеси на поверхности зерен минерального материала образуется прочный, устойчивый к высоким температурам слой из структурированного битума. Увеличение динамической вязкости битума и комплексного модуля сдвига под воздействием УНТ способствует изменению предела текучести асфальтобетона выше уровня максимальных касательных напряжений, что приводит к незначительному накоплению остаточных пластических деформаций в плите при исследовании колееустойкости. Таким образом, модифицирование битумов и асфальтобетонов наноразмерными добавками, может являться эффективным инструментом в борьбе с пластическими деформациями такими как сдвиги, наплывы и колееобразование в климатических условиях Иордании.

Литература

1. Кучма М.И. Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1982. 191 с.
2. Тарасов Р.В., Макарова Л.В., Кадомцева А.А. Модификация битумов полимерами // Современные научные исследования и инновации. 2014. №5. Ч. 1.
3. Рекомендации по применению битумно-резиновых композиционных вяжущих материалов для строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог (для опытного применения). М.: Росавтодор, 2003. 14 с.
4. Артамонова О.В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов: монография. Воронежский ГАСУ. Воронеж, 2016. 100 с.
5. Vysotskaya M.A., Barkovsky D.V., Shekhovtsova S.Y. // Iop conference series: materials science and engineering: 11th international conference on mechanical engineering, automation and control systems. Tomsk. 2017. P. 032060.
6. Русина С.Ю. Наномодифицированное полимерно-битумное вяжущее для дорожной отрасли // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова, 01-20 мая 2013 г. С. 1231 – 1235.

7. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Макаров Д.Б. и др. Наномодифицированные битумные вяжущие для асфальтобетона // Строительные материалы. 2010. №10. С. 34 – 35.
8. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А. Наномодифицированный прекурсор, как эффективный способ использования углеродных нанотрубок в полимерно-битумных вяжущих // Вестник научных конференций. 2017. №2-5 (18). С. 117 – 119.
9. Карпов А.И. Диссертационные исследования в области нанотехнологий и наноматериалов: научная новизна и практическая значимость. Ч. 1. // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2016. Т. 8. №1. С. 127 – 146.
10. Иванов Л.А. О результатах диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2016. Т. 2. №4. С. 12 – 17.
11. Zhanping You, Julian Mills-Beale, Justin M., Samit Roy, Gregory M. Odegard, Qingli Dai, Shu Wei Goh. Nanoclay-modified asphalt materials: Preparation and characterization // Construction and Building Materials. 2011. V. 25. №2. P. 1072 – 1078.
12. Shu Wei Goh, Michelle Akin, Zhanping You, Xianming Shi. Effect of deicing solutions on the tensile strength of micro- or nano-modified asphalt mixture // Construction and Building Materials. 2011. V. 25. №1. P. 195 – 200.
13. Hui Yao, Zhanping You, Liang Li, Xianming Shi, Shu Wei Goh, Julian Mills-Beale, David Wingard. Performance of asphalt binder blended with non-modified and polymer-modified nanoclay // Construction and Building Materials. 2012. V. 35. P. 159 – 170.
14. Hui Yao, Qingli Dai, Zhanping You. Fourier Transform Infrared Spectroscopy characterization of aging-related properties of original and nano-modified asphalt binders // Construction and Building Materials. 2015. V. 35. №1. P. 1078 – 1087.
15. Климат Иордании [Электронный ресурс] / World-Globe.ru. 2013-2019. Режим доступа: <http://www.world-globe.ru/coun-tries/jordan/climate>, свободный. Загл. с экрана.
16. ГОСТ 33133. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. введ. 01.10.2015. М.: Стандартинформ, 2015.
17. УНТ серии «Таунит» [Электронный ресурс] / ООО "Нанотехцентр". 2019. Режим доступа: <http://www.nanotc.ru/productions/87-cnm->, свободный. Загл. с экрана.
18. ПНСТ 85-2016. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом температурного диапазона эксплуатации. введ. 01.06.2016. М.: Стандартинформ, 2016.

References

1. Kuchma M.I. Poverhnostno-aktivnye veshchestva v dorozhnom stroitel'stve. M.: Transport, 1982. 191 p. (rus.)
2. Tarasov R.V., Makarova L.V., Kadamceva A.A. Modifikaciya bitumov polimerami. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2014. 5 (1). (rus.)
3. Rekomendacii po primeneniyu bitumno-rezinovyh kompozicionnyh vyazhushchih materialov dlya stroitel'stva i remonta pokrytij avtomobil'nyh dorog (dlya opytnogo primeneniya). M.: Rosavtodor, 2003. 14 p. (rus.)
4. Artamonova O.V. Sintez nanomodificiruyushchih dobavok dlya tekhnologii stroitel'nyh kompozitov : monografiya. Voronezhskij GASU. Voronezh, 2016. 100 p. (rus.)
5. Vysotskaya M.A., Barkovsky D.V., Shekhovtsova S.Y. Iop conference series: materials science and engineering: 11th international conference on mechanical engineering, automation and control systems. Tomsk. 2017. P. 032060.
6. Rusina S.YU. Nanomodificirovannoe polimerno-bitumnoe vyazhushchee dlya dorozhnoj otrasli. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodyh uchenykh BGТУ im. V.G. SHuhova, posvyashchennaya 160-letiyu so dnya rozhdeniya V.G. SHuhova, 01-20 maya 2013 g. P. 1231 – 1235. (rus.)
7. Ayupov D.A., Murafa A.V., Makarov D.B. i dr. Nanomodificirovannye bitumnye vyazhushchie dlya asfal'tobetona. Stroitel'nye materialy. 2010. 10. P. 34 – 35. (rus.)
8. SHEkhovcova S.YU., Vysockaya M.A. Nanomodificirovannyj prekursor, kak effektivnyj sposob ispol'zovaniya uglerodnyh nanotrubok v polimerno-bitumnyh vyazhushchih. Vestnik nauchnyh konferencij. 2017. 2-5 (18). P. 117 – 119. (rus.)
9. Karpov A.I. Dissertacionnye issledovaniya v oblasti nanotekhnologii i nanomaterialov: nauchnaya novizna i prakticheskaya znachimost'. CH. 1. Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyj internet-zhurnal. 2016. 8 (1). P. 127 – 146. (rus.)
10. Ivanov L.A. O rezul'tatah dissertacionnyh issledovaniy v oblasti nanotekhnologii i nanomaterialov. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2016. 2 (4). P. 12 – 17. (rus.)

11. Zhanping You, Julian Mills-Beale, Justin M., Samit Roy, Gregory M. Odegard, Qingli Dai, Shu Wei Goh. Nanoclay-modified asphalt materials: Preparation and characterization. *Construction and Building Materials*. 2011. 25 (2). P. 1072 – 1078.
12. Shu Wei Goh, Michelle Akin, Zhanping You, Xianming Shi. Effect of deicing solutions on the tensile strength of micro- or nano-modified asphalt mixture. *Construction and Building Materials*. 2011. 25 (1). P. 195 – 200.
13. Hui Yao, Zhanping You, Liang Li, Xianming Shi, Shu Wei Goh, Julian Mills-Beale, David Wingard. Performance of asphalt binder blended with non-modified and polymer-modified nanoclay. *Construction and Building Materials*. 2012. 35. P. 159 – 170.
14. Hui Yao, Qingli Dai, Zhanping You. Fourier Transform Infrared Spectroscopy characterization of aging-related properties of original and nanomodified asphalt binders. *Construction and Building Materials*. 2015. 35 (1). P. 1078 – 1087.
15. Klimat Iordanii [Elektronnyj resurs]. World-Globe.ru. 2013-2019. Rezhim dostupa: <http://www.world-globe.ru/coun-tries/jordan/climate>, svobodnyj. Zagl. s ekrana. (rus.)
16. GOST 33133. Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Tekhnicheskie usloviya. vved. 01.10.2015. M.: Standartinform, 2015. (rus.)
17. UNT serii «Таунит» [Elektronnyj resurs]. ООО "Nanotekhcentr". 2019. Rezhim dostupa: <http://www.nanotc.ru/productions/87-cnm->, svobodnyj. Zagl. s ekrana. (rus.)
18. Russian State Standart PNST 85-2016. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Materialy vyazhushchie neftyanye bitumnye. Tekhnicheskie trebovaniya s uchetom temperaturnogo diapazona ekspluatacii. vved. 01.06.2016. M.: Standartinform, 2016. (rus.)

*Imad Ali AL-Shalout,
Zarqa University, Jordan,
Vysotskaya M.A. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Kuznetsov D.A., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Kurlykina A.V.,*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia

*Corresponding author E-mail: roruri@rambler.ru

DIRECTED REGULATION OF PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE BY NANOCARBON OBJECTS

Abstract: directed regulation of asphalt concrete properties is an important condition for obtaining a durable material that minimizes operating costs. One of such perspective directions is modification of building compositions by nanoscale objects. The method of modification of mineral powder from dolomite by carbon nanotubes is considered in the work, and results of tests of asphalt concrete on its basis are given. It is shown that the use of nanomodified dispersed dolomite in the technology of preparation of asphalt concrete mixture on the surface of the grains of mineral material forms a strong, high-temperature resistant layer of structured bitumen. The increase in the dynamic viscosity of bitumen and the complex shear modulus under the influence of CNT contributes to the change in the yield strength of asphalt concrete above the maximum shear stresses, which leads to a slight accumulation of residual plastic deformations in the plate in the study of the resistance to ruts. Thus, modification of bitumen and asphalt concrete with nanoscale additives can be an effective tool in the fight against plastic deformations such as shifts, surges and rutting in hot climates, for example, in Jordan.

Keyword: bitumen, asphalt, carbon nanotubes, nanodolomite

Для цитирования: Имад Али Аль-Шалаут, Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Курлыкина А.В. Направленное регулирование свойств асфальтобетонов наноматериалами // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №3. С. 65 – 71. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-3-65-71

For citation: Imad Ali AL-Shalout, Vysotskaya M.A., Kurlykina A.V. Directed regulation of properties of asphalt concrete by nanocarbon objects. *Construction Materials and Products*. 2019. 2 (3). P. 65 – 71. DOI:10.34031/2618-7183-2019-2-3-65-71

Поступила в редакцию 10 марта 2019 г.

Принята в доработанном виде 20 апреля 2019 г.

Одобрена для публикации 29 мая 2019 г.

Received: March 10, 2019.

Revised: April 20, 2019.

Accepted: May 29, 2019.