

УДК 665.775

Шеховцова С.Ю. – кандидат технических наук, ассистент

E-mail: rusina.svetlan@yandex.ru

Московский государственный строительный университет

Адрес организации: 129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Высоцкая М.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: roruri@rambler.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес организации: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Влияние одностенных углеродных нанотрубок на температурный интервал работоспособности полимерно-битумных вяжущих и асфальтобетонов на их основе

Аннотация

Постановка задачи. Цель работы – разработка составов эффективных наномодифицированных полимерно-битумных вяжущих и улучшенных асфальтобетонов на их основе с расширенным температурным интервалом работоспособности. Изучение морфоструктурных особенностей модифицированных полимерно-битумных вяжущих.

Результаты. Изучено влияние содержания одностенных углеродных нанотрубок на основные физико-механические свойства полимер-битумных вяжущих. С помощью оптических методов и флуоресцентной микроскопии исследовано влияние наномодификаторов на морфоструктурные особенности полимерно-битумных вяжущих.

Выводы. Значимость для строительной отрасли заключается в том, что были разработаны эффективные асфальтобетоны с расширенным температурным интервалом работоспособности на основе наномодифицированных полимерно-битумных вяжущих. Установлено рациональное содержание модифицирующей добавки (0,0001 %) в составе вяжущего, обеспечивающее достижение заданных параметров. Установлен характер влияния одностенных углеродных нанотрубок на морфоструктурные особенности, заключающийся в том, что наномодификатор инициирует процессы структурирования межфазных слоев, что приводит к упрочнению физических связей между макромолекулами полимера и дисперсной фазой органического вяжущего, что закономерно отразилось на улучшении теплостойкости вяжущего. Изучение пленок полимерно-битумных вяжущих позволило зафиксировать, что при введении наномодификатора наблюдается уменьшение макромолекул полимера и более равномерное их распределение по объему вяжущего, что обеспечивает его стабильность. Установлено, что введение рационального количества наномодификатора позволяет расширить необходимый температурный интервал работоспособности асфальтобетонного покрытия на 25-34 %, с одновременным сокращением содержания полимера на 38 %.

Ключевые слова: битум, полимер, одностенные углеродные нанотрубки, температурный интервал работоспособности, морфология, сдвигоустойчивость, трещиностойкость.

Строительство дорог ведут с древних времен, наиболее интересные и достоверные сведения дошли до нас о дорогах древнего Рима. Сеть дорог для регулярного сообщения начала складываться в Евразии уже в 5-ом тыс. до н.э. Древнейшие дороги монолитного покрытия не имели, и строились преимущественно из камня. И если раньше дорога строилась, как «физическая» необходимость для движения колеса, то сегодняшнее состояние сети дорог – это один из важнейших индикаторов экономики государства.

В современной России преобладают дороги с асфальтобетонным покрытием. Высокие темпы автомобилизации во второй половине XX века обусловили необходимость уделять состоянию дорог и транспортных сооружений больше внимания. В свете этого, проблемы повышения качества сырьевых материалов, также становятся крайне актуальными [1-5 и др.].

Развитие современного строительного материаловедения невозможно без создания материалов нового поколения, отвечающих современным эксплуатационным

требованиям. Самым перспективным направлением, на сегодняшний день, является использование наноразмерных модификаторов: нанотрубок и других углеродных каркасных структур [2-9].

Острая необходимость увеличения эксплуатационного срока службы дорожных покрытий, назрела и в дорожно-строительном материаловедении. Достичь этого можно посредством современных технологических и рецептурных параметров воздействия, в том числе и на молекулярном уровне, непосредственно на композиты или на их компонентные сырьевые материалы.

В современном дорожном строительстве, широкое применение нашли полимерно-битумные композиции или как их называют полимерно-битумные вяжущие (ПБВ). В общем виде – это битум, модифицированный полимером. Однако, ПБВ имеет ряд недостатков, таких как расслаиваемость, ввиду того, что это многокомпонентная система, а также она характеризуется склонностью к старению и низкой адгезией.

Поэтому, весьма популярна модификация различных полимеров наноструктурными модифицирующими добавками (наномодификаторами) [1, 4, 7]. Этот метод позволяет создавать композиты нового поколения, лишенные вышеуказанных недостатков, с улучшенными характеристиками, которые можно использовать для получения высокопрочных конструкционных, изоляционных строительных материалов. Ввиду этого модифицированные полимеры в строительстве переживают свое второе рождение и выходят на новую ступень развития. Для модифицирования полимерных композитов чаще всего используют нанотрубки (УНТ) и фуллерены, обладающие уникальными физико-механическими характеристиками, для направленного структурообразования строительных композитов.

УНТ обладают характеристиками, указывающими на перспективность их использования в строительной индустрии: колоссальная прочность; высокие значения удельной поверхности и удельной поверхностной энергии; инертность по отношению к любым кислотам и щелочам [4].

На сегодняшний день известно множество разновидностей УНТ, но также существуют некоторые сложности, затрудняющие их использование: отсутствие достоверных сведений о влиянии наноразмерных частиц на окружающую среду и здоровье человека; несовершенство технологического и лабораторного оборудования; скептическое отношение общества к нанотехнологиям, характеризующееся непониманием и недоверием; повышенная склонность УНТ к агрегации, что затрудняет их равномерное распределение по всему объему композита и др.

Последний факт не позволяет наиболее полно раскрыть возможности УНТ в композите, и использовать, например их высокий модуль упругости и прочность при очень низкой плотности [10].

В настоящий момент наиболее важными задачами в получении полимерных нанокомпозитов является равномерное распределение наполнителя в полимерной матрице, а также обеспечение передачи нагрузки от матрицы к нанонаполнителю. Для решения первой задачи необходимо разрушить агрегаты нанонаполнителя и, затем, равномерно распределить его в матрице, что, как правило, осложняется высокой вязкостью полимера. Вторая задача заключается в обеспечении необходимого поверхностного взаимодействия на границе «матрица-наполнитель», в противном случае физико-механические свойства не будут реализованы в достаточной степени. Обозначенные проблемы и их решение, легли в основу выполнения исследования

В процессе постановки эксперимента решались следующие задачи:

1. Достижение равномерного распределения наномодифицирующего компонента в полимерной матрице, путем варьирования технологическими параметрами приготовления нано-прекурсора при приготовлении ПБВ;
2. Разработка эффективного битумного вяжущего, с высокими физико-механическими и эксплуатационными показателями;
3. Уменьшение содержания полимера в ПБВ без ухудшения свойств вяжущего.

В качестве объектов исследования рассматривались: исходный материал одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), полученный методом термического испарения графита в присутствии Ni-Cr катализатора в электрической дуге (Arc ОУНТ), содержащий наночастицы графита длиной 20-100 нм и наночастицы металла диаметром 5 нм.

Образцы вяжущих готовились на основе битума БНД 60/90 («Московский» НПЗ). Установление влияния наномодификатора и оптимального его содержания осуществляли посредством варьирования концентрацией полимера (бутадиен-стирольный термоэластопласт) и ОУНТ в интервале 2,8-4,0 % и 0,005-0,0001 % соответственно. Интервал варьирования УНТ ограничен весовой точностью дозирования аналитических весов ВЛР 200. Содержание пластификатора было определено заранее при подборе контрольного состава вяжущего, отвечающего требованиям ГОСТ 52056-2003, оно составило 2,5 % [11].

Приготовление ПБВ осуществлялось по двухстадийной технологии, на первом этапе готовилась наноармированная матрица полимерного компонента; на втором этапе полимерный компонент вводился в битум и перемешивался до получения однородного эффективного полимерно-битумного вяжущего.

Подобный подход при приготовлении ПБВ был использован для обеспечения возможности оценки влияния ОУНТ и равномерности их распределения в полимерной матрице.

Приготовление наноармированной полимерной матрицы осуществляли посредством ультразвукового диспергирования ОУНТ в пластифицирующей среде с последующим введением полимера. Содержание ОУНТ варьировалось в интервале 0,005-0,0001 % от массы готового вяжущего. При объединении полимера с наномодифицированной пластифицирующей средой происходят процессы его набухания, с одновременной адсорбцией мальтеновой части битума. На углеводородных цепях макромолекул полимера адсорбируется часть легких углеводородов из мальтеновой среды битума, тем самым, замедляя переход масел в смолы и образование асфальтенов. Равномерное распределение звеньев полимера способствует достижению равновесия в растворе и стабильности композита, приготовленного на его основе.

Оценку равномерности и однородности полимерной матрицы проводили на инвертированном промышленном микроскопе Nikon Eclipse MA200, что обеспечивает использование интегрированной системы искусственного интеллекта для автоматического комбинирования полученных изображений с данными наблюдений по методу светлого и темного поля. В нашем случае был использован метод светлого поля, рис. 1.

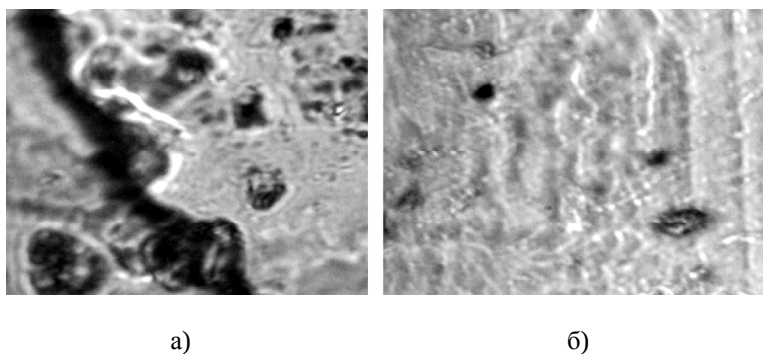


Рис. 1. Микрофотоснимок полимерного компонента, кратность $\times 1000$:
а) контрольного состава; б) модифицированного ОУНТ

На рис. 1а наблюдается неоднородная структура, свидетельствующая о неравномерном распределении полимерного компонента в пластификаторе. При модифицировании полимерной матрицы (рис. 1б) идет процесс структурирования межфазных слоев, наномодификатор изменяет ее структуру. Становится возможным более равномерное распределение полимера в пластификаторе, о чем свидетельствует изображение, на котором наблюдаются незначительные объекты из нерастворенного полимера. Таким образом, осуществляется фазовый переход вяжущего из объемного состояния в пленочное, формируя граничные слои в структуре матрицы. Формируется структурированная матрица композита, которая обеспечивает высокие показатели эластичности наномодифицированного ПБВ при температурах испытаний 25 и 0 °С, за счет упрочнения структурных связей, с одновременным сохранением их гибкости [12].

Закономерно предположить, что многофакторное перемешивание ОУНТ сначала в

пластифицирующей среде, затем при объединении с полимером и на конечном этапе в составе полимерной матрицы в объеме битума, будет способствовать более равномерному распределению наноразмерных модификаторов в объеме вяжущего, а видимое структурирование придаст ПБВ совокупность полезных свойств. Что было подтверждено работами в лабораторных условиях при проведении эксперимента по исследованию свойств модифицированного ПБВ [11, 12].

Для установления эффекта влияния ОУНТ на изменение параметров структуры модифицированных вяжущих производилось изучение морфологии пленок ПБВ на флуоресцентном микроскопе Carl Zeiss, при кратности увеличения $\times 1000$ (рис. 2). Флуоресцентная микроскопия – разновидность оптической микроскопии, использующая данное явление для изучения свойств органических и неорганических веществ, которая базируется на способности ряда веществ после поглощения света с одной длиной волны излучать свет с другой, как правило, большей длиной волны, что позволяет зафиксировать и визуализировать структурные изменения, скрытые от глаза наблюдателя.

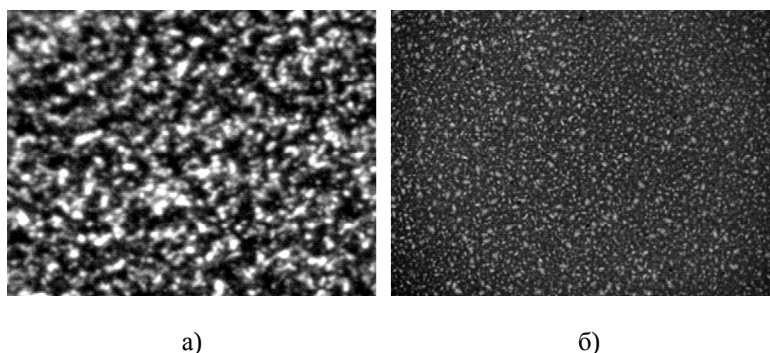


Рис. 2. Морфология поверхности полимерно-битумных вяжущих:
а) контрольного состава; б) модифицированного ОУНТ

Как видно (рис. 2а), структура контрольного образца ПБВ (состав № 2) сложена из более крупных кластеров макромолекул полимеров, неравномерно распределённых по объему. При введении в состав ПБВ (состав № 5) наноразмерного модификатора (рис. 2б), наблюдается уменьшение макромолекул полимера и более равномерное их распределение по объему вяжущего – структурирование системы, способствующее обеспечению ее стабильности.

Зафиксированные структурные изменения нашли свое отражение в улучшении показателей свойств наноструктурированных вяжущих, которые характеризуются стабильными и высокими показателями когезии, эластичности, адгезии, температуры размягчения и низкими показателями температуры хрупкости, при одновременном сокращении содержания полимера [11, 12].

Разработанные составы ПБВ (табл. 1) характеризуются расширенным температурным интервалом работоспособности композиционного материала (табл. 2), что позволяет предположить, что его можно использовать в широком диапазоне знакопеременных эксплуатационных температур, значительно превышающих нормы для центрального федерального округа (состав № 5).

Таблица 1

Составы исследуемых образцов ПБВ

Наименование компонента	Номера образцов ПБВ				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Полимер, %	4,5	2,8	2,8	2,8	2,8
Наномодификатор, %	-	-	0,005	0,0005	0,0001
Пластификатор, %	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Битум, %	остальное				

Таблица 2

Температурный интервал работоспособности ПБВ

Наименование показателя	БНД 60/90	Требование ГОСТ 52056-2003	Номера образцов ПБВ				
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Температура размягчения по КиШ, °С	51	не менее 54	78	56	62	68	80
Температура хрупкости по Фраасу, °С	-17	не более -20	-26	-21	-23	-25	-29

Анализ полученных результатов исследования (табл. 2) показал увеличение интервала работоспособности модифицированного ПБВ, при введении в его состав наноразмерных объектов в рассматриваемом диапазоне УНТ (состав № 5), с одновременным сокращением содержания полимера на 38 %. Полученные зависимости свойств, должны закономерно отразиться на работоспособности асфальтобетонного покрытия, выполненного с использованием разработанного ПБВ. Расчёт требуемого и необходимого диапазона рабочих температур асфальтобетонного покрытия, достаточного для обеспечения заданного срока его службы в конкретных природных условиях, осуществлялся по методике Ковалева Я.Н.

Расчетная зимняя температура трещиностойкости определяется по формуле:

$$t_{0min}=0,7 t_{bmin},$$

где t_{0min} – расчетная зимняя температура трещиностойкости асфальтобетонного покрытия, °С;

t_{bmin} – расчетная зимняя температура наружного воздуха для наиболее холодных суток, °С:

$$t_{0min}=0,7 \cdot (-27) = \text{минус } 18,9 = \text{минус } 19^\circ\text{C}.$$

За расчетную летнюю температуру сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия с применением полимерно-битумного вяжущего принимают температуру дорожного покрытия в июле, которая определяется в соответствии СНиП 23.0-99, по формуле Я.Н. Ковалева:

$$t_{bmax} = J(1-A)K/\alpha_c + t_{ecn},$$

где J – расчетный поток суммарной солнечной радиации для района эксплуатации, ккал/(м²ч) (п.8 СП 131.13330.2012), для Белгорода – 245 кВт ч/м²=282 ккал/(м²ч);

A – альбеда покрытия, (коэффициент отражения), по Н.Я. Ковалеву - 0,11 для асфальтобетона;

α_c – суммарный расчетный коэффициент теплоотдачи асфальтобетонного покрытия, ккал/(м²ч°С):

$$\alpha_c = \alpha_u + \alpha_k,$$

α_u – коэффициент теплоотдачи за счет излучения; для асфальтобетонных покрытий по данным В.М. Сиденко $\alpha_u = 3$ ккал/(м²ч°С),

α_k – коэффициент теплоотдачи за счет конвекции, ккал/(м²ч°С):

$$\alpha_k = 4,23V^{0,66} + 3,2e^{-1,28V},$$

где V – скорость ветра над покрытием для района эксплуатации, м/с, (5 м/с для II ДКЗ);

$$\alpha_k = 4,23 \cdot 5^{0,66} + 3,2e^{-1,28 \cdot 5} = 12,24 \text{ ккал/(м}^2\text{ч}^\circ\text{C)}.$$

Таким образом, суммарный расчетный коэффициент будет равен:

$$\alpha_c = 3 + 12,24 = 15,24,$$

где K – коэффициент, учитывающий часть поглащенного покрытием тепла, отдаваемого окружающему воздуху:

$$K = 0,15 + 0,052V = 0,15 + 0,052 \cdot 5 = 0,41,$$

где t_{ecn} – температура воздуха в пограничном слое покрытия, °С, при скорости ветра от 0 до 1,0 м/с, определяется по формуле, полученной на основе графических данных Я.Н. Ковалева:

$$t_{ecn} = (t''_{bmax} + 20) - 12V,$$

где t''_{bmax} – средняя максимальная температура наружного воздуха в июле, °С, (табл. 2 СНиП 23.01-99), для г. Белгород – 25,7 °С.

Температура воздуха в пограничном слое покрытия:

$$t_{ecn} = (25,7 + 20) - 12 \cdot 1 = 33,7^\circ\text{C}.$$

Расчетная летняя температура сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия:

$$t_{bmax} = 282(1 - 0,11)0,41/15,24 + 33,7 = 40,5^\circ\text{C}.$$

В соответствии с используемой методикой, для Белгородской области, температуры трещиностойкости и сдвигустойчивости асфальтобетонного покрытия составляют -19°C и $+40,5^{\circ}\text{C}$ соответственно. Из табл. 2 видно, что разработанный наномодифицированный состав ПБВ (образец № 5) превышает необходимые требования по интервалу работоспособности композита: на 34 % по температуре хрупкости и на 97 % по температуре размягчения. Полученные данные характеризуют его как композит, обладающий повышенной сопротивляемостью пластическим деформациям в летнее время и трещинообразованию в зимний период. Что также было подтверждено при изучении свойств образцов асфальтобетона типа Г на основе трех образцов вяжущего (составы № 1, № 2, № 5). Выбор типа асфальтобетона обоснован тем, что композиты, в которых отсутствует прочный каркас из крупного минерального остова характеризуются большой чувствительностью вяжущего в его составе к восприятию нагрузок и температур. Что позволит оценить вклад именно модифицированного вяжущего, в свойстве асфальтобетона, приготовленного на его основе. Результаты сравнительного эксперимента представлены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-механические показатели асфальтобетона типа Г, марки П

Показатель	Требования ГОСТ 9128-2013	Используемое вяжущее		
		№ 1	№ 2	№ 5
Водонасыщение, %	1,5...4,0	1,8	2,3	1,8
Предел прочности при сжатии, МПа при температуре: $+20^{\circ}\text{C}$ $+50^{\circ}\text{C}$ $+60^{\circ}\text{C}$ 0°C				
	$>2,2$	4,6	4,2	4,9
	$>1,2$	2,3	1,7	2,6
	-	1,6	1,1	2,1
	<12	8,6	10,0	7,2
Водостойкость	$>0,85$	0,98	0,90	1,00
Водостойкость при длительном водонасыщении	$>0,75$	0,89	0,81	0,98
Теплостойкость R_{50}/R_{20}	-	0,5	0,4	0,53
Трещиностойкость R_0/R_{50}	-	3,73	5,8	2,77

Анализ данных, представленных в табл. 3, позволяет заключить, что состав № 2, с содержанием полимера – 2,8 % характеризуется повышенной чувствительностью к перепадам температур, что характерно для слабосвязанных структур. При введении в состав наномодификатора, при аналогичном содержании полимера (состав № 5) формируются прочные температуроустойчивые структурные связи, придающие композиту комплекс улучшенных показателей свойств. Закономерно предположить, что приготовление асфальтобетонов с более жесткой каркасной структурой (тип А, ЦМА) будут характеризоваться улучшенными показателями качества.

Заключение

Получены конкурентоспособные образцы асфальтобетона на основе наномодифицированных полимерно-битумных вяжущих с расширенным температурным интервалом работоспособности. Установлено рациональное содержание модифицирующей добавки (0,0001 %) в составе вяжущего, обеспечивающее улучшение всего комплекса свойств композита с одновременным сокращением содержания полимера на 38 %. Показано, что введение одностенных углеродных нанотрубок на стадии приготовления полимерной матрицы инициирует процессы структурирования межфазных слоев, а за счет упрочнения структурных связей формируется «гофрированная» структура. Изучение пленок полимерно-битумных вяжущих с применением флуоресцентной микроскопии позволило зафиксировать, что при введении наномодификатора наблюдается уменьшение размеров макромолекул полимера и более равномерное их распределение по объему вяжущего, что обеспечивает ее стабильность. Установленные морфоструктурные особенности вяжущего закономерно отразились на улучшении свойств композита. Установлено, что введение рационального количества

наномодификатора позволяет расширить необходимый температурный интервал работоспособности асфальтобетонного покрытия на 25-34 %.

Полученные результаты исследований свидетельствуют об эффективности использования наноразмерных углеродных материалов для структурирования и упрочнения битумного вяжущего и асфальтобетона, приготовленного на его основе, что в свою очередь приведет к увеличению межремонтных сроков и продлению всего эксплуатационного периода асфальтобетонного покрытия.

Список библиографических ссылок

1. Loos M. Carbon Nanotube Reinforced Composites: CNT Polymer Science and Technology. William Andrew. 2014. 304 p.
2. Высоцкая М. А., Кузнецов Д. А., Русина С. Ю., Чевтаева Е. В., Беликов Д. А. Тенденции развития наномодификации композитов на органических вяжущих в дорожно-строительной отрасли // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 17–20.
3. Tibbetts G. G., Gorkiewicz D. W., Alig R. L. A new reactor for growing carbon fibers from liquid-and vapor-phase hydrocarbons // Carbon. 2013. Vol. 61. Iss. 5. P. 809–814.
4. Kim S. W. Surface modifications for the effective dispersion of carbon nanotubes in solvents and polymers // Carbon. 2012. Vol. 50. Iss. 1. P. 3–33.
5. Rodrigues R. Hydrostatic pressure sensors based on carbon spheres dispersed in polyvinyl alcohol prepared using hexadecyltrimethylammonium bromide as surfactant and water as solvent // Materials Research Express. 2014. Vol. 1. Iss. 1. P. 601–605.
6. Coleman J. N., Khan U., Gun'ko Y. K. Advanced Materials Mechanical Reinforcement of Polymers Using Carbon Nanotubes // Advanced Materials. 2006. Vol. 18. Iss. 6. P. 698–706.
7. Zhang P. Dispersion of multi-walled carbon nanotubes modified by rosemary acid into poly (vinyl alcohol) and preparation of their composite fibers // RSC Advances. 2015. Vol. 5. Iss. 68. P. 55492–55498.
8. Иноземцев С. С., Королев Е. В. Эксплуатационные свойства наномодифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Вестник МГСУ. 2015. № 3. С. 29–39.
9. Li. S. Enhancement of carbon nanotube fibres using different solvents and polymers // Composites Science and Technology. 2012. Volume 72. Issue 12. P. 1402–1407.
10. Иноземцев С. С. Королев Е. В. Разработка наномодификаторов и исследование их влияния на свойства битумных вяжущих веществ // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 131–139.
11. Русина С. Ю., Киндеев О. Н., Антонова А. О. Исследование влияния вида пластификатора на свойства полимерно-битумного вяжущего : сб. ст. научно-практической конференции: Современные строительные материалы, технологии и конструкции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова / ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова. Грозный, 2015. С. 301–305.
12. Vysotskaya M., Shekhovtsova S. Nanotubes as a modifier PMB and asphalt concrete // Advances in Engineering Research, International Conference on Structural, Mechanical and Materials Engineering (ICSMME 2015). P. 177–179.

Shehkovtsova S.Yu. – candidate of technical sciences, assistant

E-mail: rusina.svetlan@yandex.ru

Moscow State University of Civil Engineering

The organization address: 129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26

Vysotskaya M.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: roruri@rambler.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Schukhov

The organization address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova st., 46

The influence of single-walled carbon nanotubes in the temperature range of efficiency of polymer-bitumen binders and asphalt concretes on their basis

Abstract

Statement of the problem. The purpose of the work – is to develop compositions of effective nanomodified polymer-modified binders and improved asphaltic concrete on their basis with an extended temperature range of efficiency. Study of morphostructural features of modified polymer-bitumen binders.

Results. The influence of the content of single-walled carbon nanotubes on the main physico-mechanical properties of polymer-modified binders was studied. Using optical methods and fluorescence microscopy, the influence of nanomodifiers on the morphostructural features of polymer-bitumen binders has been studied.

Conclusions. The significance for the construction industry lies in the fact that effective asphalt-concrete has been developed with an extended operating temperature range based on nanomodified polymer-bitumen binders. The rational content of the modifying additive (0,0001 %) in the binder composition was established, which ensures achievement of the specified parameters. The character of the effect of single-walled carbon nanotubes on morphostructural features is established, which consists in the fact that the nanomodifier initiates the processes of structuring interphase layers, which leads to strengthening of physical bonds between macromolecules of the polymer and the disperse phase of the organic binder-a «corrugated» structure is formed. The study of films of polymer-bitumen binders made it possible to note that when a nanomodifier is introduced, the polymer macromolecules are reduced and their distribution over the volume of the binder more uniform, which ensures its stability. It has been established that the introduction of a rational amount of nanomodifier allows to expand the required temperature range of the asphalt-concrete coating serviceability by 25-34 %, while reducing the polymer.

Keywords: bitumen; polymer; single-walled carbon nanotubes, the temperature interval of efficiency, morphology, shear resistance, crack resistance.

References

1. Loos M. Carbon Nanotube Reinforced Composites: CNT Polymer Science and Technology. William Andrew. 2014. 304 p.
2. Vysotskaya M. A., Kuznetsov D. A., Rusina S. Yu., Chevtava E. V., Belikov D. A. Trends nanomodification composites of organic binders in road construction industry // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Schushova. 2013. № 6. P. 17–20.
3. Tibbetts G. G., Gorkiewicz D. W., Alig R. L. A new reactor for growing carbon fibers from liquid-and vapor-phase hydrocarbons // Carbon. 2013. Vol. 61. Iss. 5. P. 809–814.
4. Kim S. W. Surface modifications for the effective dispersion of carbon nanotubes in solvents and polymers // Carbon. 2012. Vol. 50. Iss. 1. P. 3–33.
5. Rodrigues R. Hydrostatic pressure sensors based on carbon spheres dispersed in polyvinyl alcohol prepared using hexadecyltrimethylammonium bromide as surfactant and water as solvent // Materials Research Express. 2014. Vol. 1. Iss. 1. P. 601–605.
6. Coleman J. N., Khan U., Gun'ko Y. K. Advanced Materials Mechanical Reinforcement of Polymers Using Carbon Nanotubes // Advanced Materials. 2006. Vol. 18. Iss. 6. P. 698–706.
7. Zhang P. Dispersion of multi-walled carbon nanotubes modified by rosemary acid into poly (vinyl alcohol) and preparation of their composite fibers // RSC Advances. 2015. Vol. 5. Iss. 68. P. 55492–55498.
8. Inozemtsev S. S., Korolev E. V. Operational properties of nanomodified stone mastic asphalt // Vestnik MGSU. 2015. № 3. P. 29–39.
9. Li. S. Enhancement of carbon nanotube fibres using different solvents and polymers // Composites Science and Technology. 2012. Vol. 72. Iss. 12. P. 1402–1407.
10. Inozemtsev S. S., Korolev E. V. Development of nanomodifiers and research into their influence on the properties of bituminous binders // Vestnik MGSU. 2013. № 10. C. 131–139.
11. Rusina S. Yu., Kindeev O. N., Antonova A. O. Study of the effect of type of plasticizer on the properties of polymer-bitumen binder: dig. of art. of the scientific-practical conference: Modern building materials, technology and design, dedicated to the 95th anniversary of FGBOU VPO GGNTU after acad. M. D. Millionshtchikov / GGNTU after acad. M. D. Millionshtchikov. Grosny, 2015. P. 301–305.
12. Vysotskaya M., Shekhovtsova S. Nanotubes as a modifier PMB and asphalt concrete // Advances in Engineering Research, International Conference on Structural, Mechanical and Materials Engineering (ICSMME 2015). P. 177–179.