

ТЕПЛЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СМЕСИ С ДОБАВЛЕНИЕМ АСФАЛЬТОВОГО ГРАНУЛЯТА

Д-р техн. наук **А.П. Лупанов**
(АБЗ-4 «Капотня»),
канд. техн. наук **Н.В. Гладышев**
(ООО «Дорэксперт»),
канд. техн. наук, профессор **В.В. Силкин**,
канд. техн. наук, доцент **С.М. Дмитриев**,
аспирант **И.О. Козиков**
(Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ))
Конт. информация: dmitrsmist@mail.ru

Статья посвящена исследованию совместного влияния асфальтового гранулята и специальных добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) на регулирование физико-механических и технологических свойств асфальтобетона. Проведенное исследование показывает, что улучшение свойств асфальтобетона с добавлением асфальтового гранулята возможно за счет использования ПАВ. Одновременно с улучшением физико-механических свойств оптимизируются технологические свойства асфальтобетона, что позволяет уменьшить температуру приготовления и укладки теплой асфальтобетонной смеси и сократить объем выбросов вредных загрязняющих веществ на АБЗ.

Ключевые слова: асфальтовый гранулят, битум, выбросы загрязняющих веществ, добавки ПАВ, теплые смеси, экономическая эффективность.

Основными материалами для строительства, ремонта и реконструкции автомобильных дорог являются битумоминеральные материалы, стоимость которых в последние годы непрерывно увеличивается в связи с ростом цен на сырье и энергоресурсы. Кроме того, постоянно возрастают тарифы на газ и электроэнергию, железнодорожные перевозки. Все это неизбежно приводит к дальнейшему повышению стоимости асфальтобетонных смесей, и, как следствие, дорожных работ.

В связи с этим за рубежом и в России все большее применение находят технологии, основанные на переработке гранулята старого асфальтобетона, реализуемые непосредственно на дороге или асфальтобетонных заводах (АБЗ) в специализированных асфальтосмесительных установках (АСУ). Такие технологии позволяют существенно снизить себестоимость работ за счет экономии: транспортных средств, энергоза-

трат, каменных и вяжущих материалов. Затраты по восстановлению дорожной одежды методами повторного использования старого асфальтобетона по сравнению с традиционными снижаются на 10-15 %. При этом экономия минерального порошка и битума составляет соответственно до 60 и 35 % [1].

В то же время добавление только асфальтового гранулята при приготовлении асфальтобетонной смеси не исключает старение вяжущего, ухудшение технологических свойств, увеличение выбросов вредных веществ.

Улучшению свойств асфальтобетона и снижению выбросов вредных веществ способствует введение поверхностно-активных веществ (ПАВ), применяемых для приготовления теплых асфальтобетонных смесей.

В мировой и отечественной практике теплые асфальтобетонные смеси находят все большее применение при строительстве асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог благодаря ряду преимуществ по сравнению с традиционными горячими асфальтобетонными смесями [2, 3]:

- снижение потребления топлива на производство асфальтобетонной смеси;
- уменьшение вредного влияния на окружающую природную среду;
- повышение производительности АБЗ;
- увеличение дальности транспортирования асфальтобетонной смеси;
- возможность продления строительного сезона при укладке асфальтобетонных смесей при более низких температурах окружающей среды;
- улучшение условий труда дорожных рабочих;
- уменьшение испарений при охлаждении слоя асфальтобетона;
- ускорение открытия движения автотранспорта;
- замедление процессов старения битума при приготовлении, транспортировке и укладке асфальтобетонных смесей;
- возможность использования до 35-50 % асфальтового гранулята в составе смеси.

Для производства теплых смесей широко используются новые технологии, а также различные добавки зарубежного и отечественного производства (Honeywell, Titan 2686, Rediset WMX, Palmowax,

Evotherm, Sacabase RT 945, Aspha-min, Sasobit, Азол – 1007, Амдор-ТС, ДАД-1-ТА, Дорос-АП-Т, Адгезол-3-ТД) [6, 8].

Несмотря на ряд преимуществ теплых асфальтобетонных смесей, по данным профессора Радовского Б.С. [2], имеются нерешенные вопросы, касающиеся проектирования состава и расчетных характеристик дорожной одежды, колее- водо- и морозостойкости и др.

Однако за последние годы следует отметить значительный прогресс в применении теплых асфальтобетонных смесей в США и Европе. По данным Европейской ассоциации асфальтобетонных покрытий (European Asphalt Pavement Association (EAPA), в 2010 г. в мире было уложено около 48 млн т теплых смесей, из них 42 млн т в США, 4,8 млн т в европейских странах, 0,12 млн т в Японии [4].

В Российской Федерации к настоящему времени широкого внедрения теплых смесей не произошло. Вместе с тем, на ряде объектов дорожного хозяйства в Сибири, Бурятии, Республике Татарстан осуществлена опытная укладка теплых смесей с применением добавок Evoterm 3G и Evoterm J1 при строительстве и капитальном ремонте автомобильных дорог. Разработан сертификат соответствия добавок Evoterm M1 требованиям СТО 5718-001-11671766-2013.

Проведены исследования добавок Secabase PT в Омском филиале СоюздорНИИ, по результатам которых они были рекомендованы к применению в России. Применение добавок Secabase PT при выполнении работ в Волгоградской и Самарской областях при температуре окружающей среды показало обнадеживающие результаты.

На АБЗ в Санкт-Петербурге (ОАО «Асфальтобетонный завод №1») и в Москве (АБЗ-4 «Капотня») накоплен опыт применения теплых смесей с современными добавками отечественного и зарубежного производства, использование которых, согласно экспериментальным данным, позволяет снизить температуру приготовления и укладки смесей.

В настоящее время за рубежом большое внимание уделяется одновременному использованию двух технологий: применению асфальтового гранулята и приготовлению теплых асфальтобетонных смесей.

При этом считается, что совместное применение больших объемов асфальтового гранулята и технологии производства теплых асфальтобетонных смесей является экономическим, экологическим и технически оптимальным решением, обеспечивающим повышение эффективности каждой из этих технологий [7].

Согласно зарубежным исследованиям, в США применяют достаточно большее количество асфальтового гранулята в новой смеси при его сочетании с теплыми асфальтобетонными смесями. Это объясняется тем, что более низкие температуры смешивания теплых смесей способствуют меньшему старению первичного вяжущего при их производстве.

Кроме того, по результатам испытаний различных типов покрытий, выполненных на полигоне в США под действием стандартной осевой нагрузки, эквивалентной 10 млн ESAL (англ. Equivalent Standard Axle Load – Эквивалентная нормативная осевая нагрузка), установлено, что добавление асфальтового гранулята в теплые смеси способствует улучшению их сопротивляемости образованию колеи.

Ниже представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в ООО «Дорэксперт» (г. Москва) на базе АБЗ-4 «Капотня» по изучению совместного влияния асфальтового гранулята и добавок ПАВ при приготовлении теплых смесей на свойства асфальтобетона и выбросы вредных веществ [1, 5].

На основе теоретических исследований установлена возможность улучшения свойств асфальтобетона с добавлением асфальтового гранулята за счет использования добавок ПАВ, обеспечивающих снижение прочности коагуляционных и фазовых контактов, а также повышающих адгезию вяжущего. Одновременно с улучшением физико-механических свойств оптимизируются технологические свойства асфальтобетона, что позволяет уменьшить температуру приготовления и укладки асфальтобетонных смесей и сократить количество выбросов вредных загрязняющих веществ.

Для подтверждения теоретических исследований на АБЗ-4 «Капотня» в лабораторных и производственных условиях была проведена оценка влияния добавления асфальтового гранулята и различных видов ПАВ на свойства асфальтобетона и выбросы вредных загрязняющих веществ в окружающую среду.

Объектом экспериментальной оценки влияния технологических параметров на свойства асфальтобетонов и объем образующихся выбросов вредных веществ были асфальтобетонные смеси по ГОСТ 9128-2009 и смеси с добавлением гранулята старого асфальтобетона по СТП 5718-001-04000633-2006. Для их приготовления использовались следующие материалы:

- щебень из габбро-диабаз по ГОСТ 8267-93 и ГОСТ 9128-2009 фракции 5/20 мм, полученный путем дробления на ОАО АБЗ №4 «Капотня» щебня фракции 20/40 мм;
- песок природный, качественные характеристики которого соответствуют требованиям ГОСТ 8736-93 и ГОСТ 9128-2009, $M_k = 2,2$;
- минеральный порошок по ГОСТ Р 52129-2003, полученный в результате измельчения карбонатных горных пород;

- битум нефтяной дорожный (БНД 60/90), отвечающий требованиям ГОСТ 22245-90, ГОСТ 11506-73, ГОСТ 11505-75, ГОСТ 11507-78, ГОСТ 12801-98;
- гранулят старого асфальтобетона по ГОСТ Р 55052-2012 и СТП 5718-001-04000633-2006, полученный в результате холодного фрезерования асфальтобетонных покрытий с его последующей переработкой в дробильно-сортировочной установке «Benninghoven» на АБЗ №4 «Капотня»;
- добавки ПАВ отечественного и зарубежного производства, использование которых позволяет улучшать физико-механические и технологические свойства асфальтобетона, а также снизить температуру приготовления и укладки асфальтобетонной смеси. Краткая информация об используемых ПАВ приведена в **табл. 1**.

Таблица 1

Общие сведения о применяемых ПАВ

<i>Наименование ПАВ</i>	<i>Состав</i>	<i>Дозировка</i>
<i>Модификатор «CCBit 113 AD»</i>	Амидные воски на основе полиаминов жирных кислот	3,0 % от массы битума
<i>Добавка «Rediset WMX 8017»</i>	Парафиновые и углеводородные воски, алкилдиаминопропан	1,5 % от массы битума
<i>Присадка «Evoterm J-1»</i>	Конденсат полиаминов жирных кислот талового масла	0,5 % от массы битума
<i>Присадка «Sylvaroad RP1000»</i>	Полиоловый эфир	7 % от массы битума, входящего в состав гранулята
<i>Добавка «ZucoTherm»</i>	Аминовые кислоты	0,1 % от массы битума
<i>Амфолитная присадка «ДАД-1»</i>	Вторичные продукты переработки растительных масел	0,6 % от массы битума
<i>Добавка «Адгезол 3-ТД»</i>	Амиды и углеводородные парафиновые воски	1,2 % от массы битума

Представленные добавки в рекомендуемом их производителями количестве вводились в предварительно разогретый до 140-150 °С битум и тщательно перемешивались с ним. Свойства битума, модифицированного добавками, представлены в **табл. 2**.

Полученные результаты испытаний показали незначительные изменения основных свойств исходного битума с имеющимися добавками. Это может быть обусловлено нахождением вяжущего в объемном, а не в пленочном состоянии, что в свою очередь затрудняет проявление действия ПАВ, которое главным образом выражается в снижении сил поверхностного натяжения и улучшении смачивания битумом минеральных частиц асфальтобетонной смеси и асфальтовых гранул.

Таким образом, основываясь на представленных результатах и данных теоретических исследований, было решено вводить указанные добавки одновременно с введением в асфальтобетонную смесь битумного вяжущего.

На первом этапе лабораторных экспериментальных исследований предполагалась оценка влияния добавок на свойства асфальтобетонных смесей и асфальтобетона по комплексу основных физико-механических характеристик материала на образцах, уплотненных по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 12801-98.

Результаты лабораторных испытаний образцов, представленные на **рис. 1** и **рис. 2**, свидетельствуют о том, что использование таких добавок комплексного действия, как Evoterm J-1, Rediset WMX, ССВит 113 AD, ДАД-1 и др., способствует повышению водостойкости асфальтобетона и оптимизации его прочностных показателей, что подтверждает выводы теоретических исследований. Полученный эффект объясняется образованием развитого ориентированного мономолекулярного слоя на поверхности минеральных частиц и асфальтовых гранул, а, как следствие – уменьшением трения между ними в процессе уплотнения. При этом за счет пластификации вяжущего снижается прочность асфальтобетона при 0 °С, что особенно заметно в случае использования добавок №№ 2, 5, 8.

Технологические свойства асфальтобетонной смеси с гранулятом и добавками в лабораторных условиях оценивались по ее уплотняемости при различных уплотняющих нагрузках. Представленные данные показывают, что введение добавок ПАВ в состав песчаной асфальтобетонной смеси (**рис. 3**) и мелкозернистой асфальтобетонной смеси (**рис. 4**) с содержанием гранулята до 30 %, позволяет достичь заданной плотности при снижении температуры приготовления и уплотнения смеси.

Таблица 2

Свойства модифицированного битума

Наименование показателей	Требования ГОСТ 22245-90	Битум БНД 60/90	Битум БНД 60/90 с добавками						
			CCBit 113 AD	Rediset WMX 8017	Evotherm J-1	Sylvaroad RP 1000	ZycoTherm	ДАД-1	Адгезол 3-ТД
Температура размягчения по КиШ, °С	≥ 47	50	55	49	54	52	50	51	50
Пенетрация при 0°С, 0,1 мм	≥ 20	26	25	25	29	20	21	27	22
Пенетрация при 25°С, 0,1 мм	от 61 до 90	64	63	65	75	63	62	64	72
Растяжимость, при 25 °С, см	≥ 55	Более 100	Более 100	Более 100	Более 100	Более 100	Более 100	Более 100	Более 100
Индекс пенетрации	от - 1 до + 1	- 0,61	0,55	- 0,83	0,82	- 0,14	- 0,69	- 0,35	- 0,30

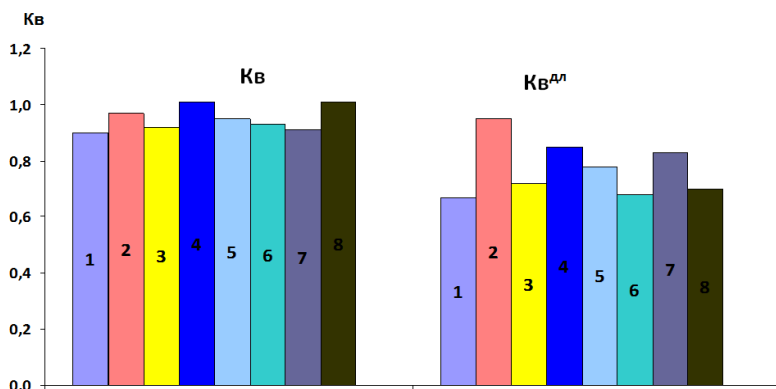


Рис. 1. Значения коэффициентов водостойкости и водостойкости при длительном водонасыщении для мелкозернистого асфальтобетона с гранулятом:
 1) без добавок; 2) с добавкой «Evoterm J-1»; 3) – «Rediset WMX»;
 4) – «CCBit 113-AD»; 5) – «ДАД-1»; 6) – «Адгезол 3-ТД»;
 7) – «Zycoterm»; 8) – «Sylvaroad RP1000»

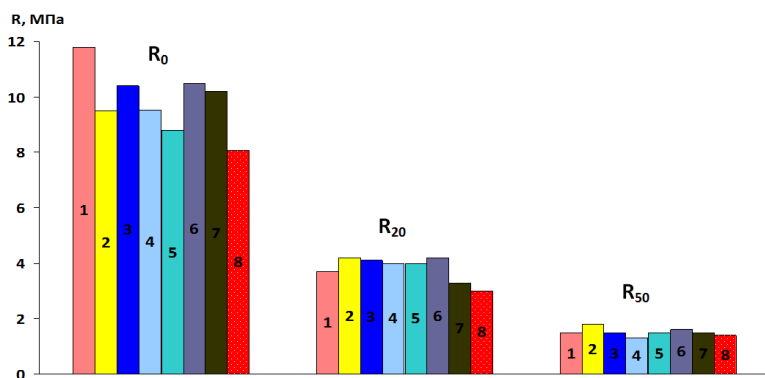


Рис. 2. Значения прочностных показателей при 0 °С, 20 °С, 50 °С для мелкозернистого асфальтобетона с гранулятом:
 1) без добавок; 2) с добавкой «Evoterm J-1»; 3) – «Rediset WMX»;
 4) – «CCBit 113-AD»; 5) – «ДАД-1»; 6) – «Адгезол 3-ТД»;
 7) – «Zycoterm»; 8) – «Sylvaroad RP1000»

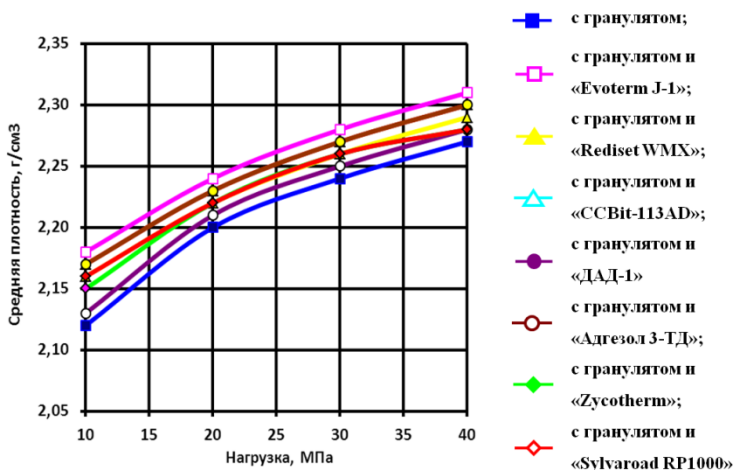


Рис. 3. Зависимость плотности песчаного асфальтобетона от уплотняющей нагрузки ($t = 100-110\text{ }^{\circ}\text{C}$)

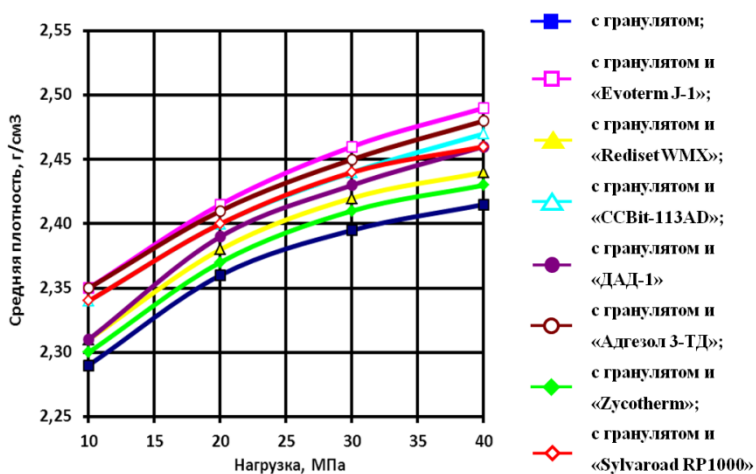


Рис. 4. Зависимость плотности мелкозернистого асфальтобетона от уплотняющей нагрузки ($t = 100-110\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Представленные на **рис. 5** результаты измерений в лабораторных условиях показывают, что использование асфальтового гранулята приводит к увеличению выбросов оксида углерода на 20-40 % в зависимости от содержания гранулята в смеси. При этом основным технологическим фактором, влияющим на объем образующегося газа, является температура производственного процесса. Кроме того, было установлено, что введение самих добавок ПАВ также оказывает влияние на концентрацию образующегося газа (**рис. 6**).

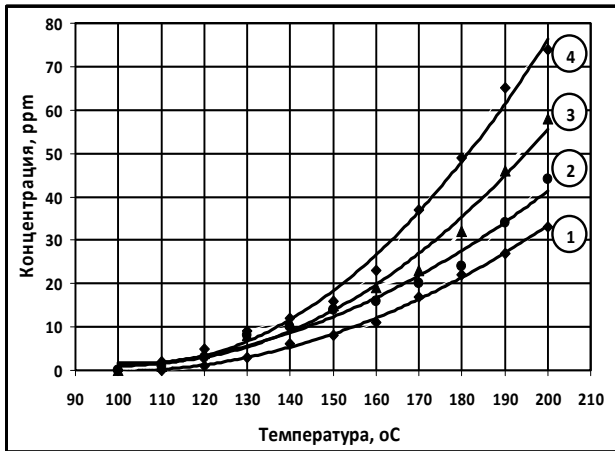


Рис. 5. Зависимость объема выбросов оксида углерода (CO) от количества асфальтового гранулята и температуры приготовления смеси:
 1 – без гранулята; 2 – 10 % гранулята; 3 – 20 % гранулята; 4 – 30 % гранулята

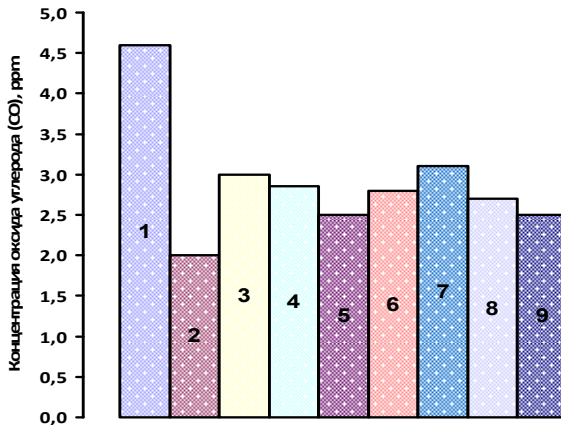


Рис. 6. Влияние добавок на концентрацию загрязняющих веществ:
 1 – смесь без добавок (t = 140-150 °C); 2 – смесь без добавок (t = 100-110 °C);
 3 – с «Evoterm J-1» (t = 100-110 °C); 4 – с «ДАД-1» (t = 100-110 °C);
 5 – с «CCBit-113 AD» (t = 100-110 °C); 6 – с «Rediset WMX» (t = 100-110 °C);
 7 – с «Sylvaroad RP1000» (t = 100-110 °C); 8 – с «Zycotherm» (t = 100-110 °C);
 9 – с «Адгезол 3-ТД» (100-110 °C)

В результате проведенных лабораторно-экспериментальных работ установлено, что наиболее стабильными и оптимальными физико-механическими свойствами обладают асфальтобетонные смеси и асфальтобетон, приготовленные с использованием добавок «Evoterm J-1» и «ДАД-1». Кроме того, объем образующихся выбросов, при использовании указанных добавок, также сокращается за счет снижения температуры приготовления смеси.

Опытно-производственная проверка результатов лабораторных и экспериментальных исследований была выполнена на АБЗ-4 «Капотня» в производственных условиях при приготовлении мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси с использованием асфальтового гранулята в количестве 30 % при его введении в среднюю часть сушильного барабана асфальтосмесительной установки компании «Ammomatic» (Финляндия). При этом температура технологического процесса была снижена на 30-40 °С, а в состав асфальтобетонной смеси поочередно подавались две отобранные добавки из ряда имеющихся: первая добавка – «Evoterm J-1», показавшая наиболее высокие результаты в ходе лабораторных исследований. В качестве второй добавки был выбран продукт отечественной компании «Селена» – «ДАД-1», показавший менее хорошие результаты, но цена которого более привлекательна для производителя. Дозировка добавок «Evoterm J-1» и «ДАД-1» в количестве, рекомендуемом производителями (0,5 и 0,6 % от массы битума соответственно), осуществлялась посредством трубопровода из расходной емкости непосредственно в смеситель асфальтосмесительной установки, где они распылялись через форсунку в момент завершения слива битума. После этого в течение 30-40 с производилось перемешивание отдозированных компонентов, а затем выгрузка готовой смеси в скиповый подъемник и автосамосвалы. Приготовленные по такой технологической схеме смеси были использованы для устройства верхнего слоя асфальтобетонного покрытия на опытном участке. Укладка смеси производилась при температуре 100-110 °С, что на 30-40 °С ниже, чем принято для горячих смесей.

Результаты испытаний асфальтобетонных смесей, приготовленных в производственных условиях с использованием гранулята старого асфальтобетона и добавок «Evoterm J-1» и «ДАД-1», а также образцов-кернов из уложенного покрытия, представленные в **табл. 3**, подтвердили выводы теоретических и лабораторных исследований в части возможности производства и укладки асфальтобетонных смесей с гранулятом и добавками ПАВ, при снижении температуры технологического процесса.

Таблица 3

Результаты испытания образцов-кернов, отобранных из асфальтобетонного покрытия

Наименование смеси	Образцы (керны) из покрытия		Переформованные образцы					Коэффициент уплотнения
	Средняя плотность, г/см ³	Водо-насыщение, % по объему	Средняя плотность, г/см ³	Водо-насыщение, % по объему	Предел прочности при сжатии, при 20 °С, МПа	Предел прочности при сжатии, при 50 °С, МПа	Водостойкость	
Мелкозернистая плотная с гранулятом на БНД 60/90	2,50	1,0	2,49	1,3	4,4	1,4	0,99	1,00
Мелкозернистая плотная с гранулятом и добавкой «Evoterm J-1»	2,48	1,2	2,49	1,2	4,4	1,5	0,99	1,00
Мелкозернистая плотная с гранулятом и добавкой ДАД-1	2,48	2,5	2,51	1,5	5,0	1,6	0,97	0,99
Нормативные значения	Не нормируется	Требования ГОСТ 9128-2009	Не нормируется	Требования ГОСТ 9128-2009				Требования СНиП 3.06.03-85
		не более 4,5		от 1,0 до 4,0	не менее 2,5	не менее 1,2	не менее 0,9	не менее 0,99

Кроме того, в производственных условиях установлено, что снижение температуры приготовления асфальтобетонных смесей с гранулятом и добавками ПАВ, позволяет снизить максимально-разовые концентрации образующихся загрязняющих веществ на 5-10 %. Результаты проведенных измерений показаны на **рис. 7**.

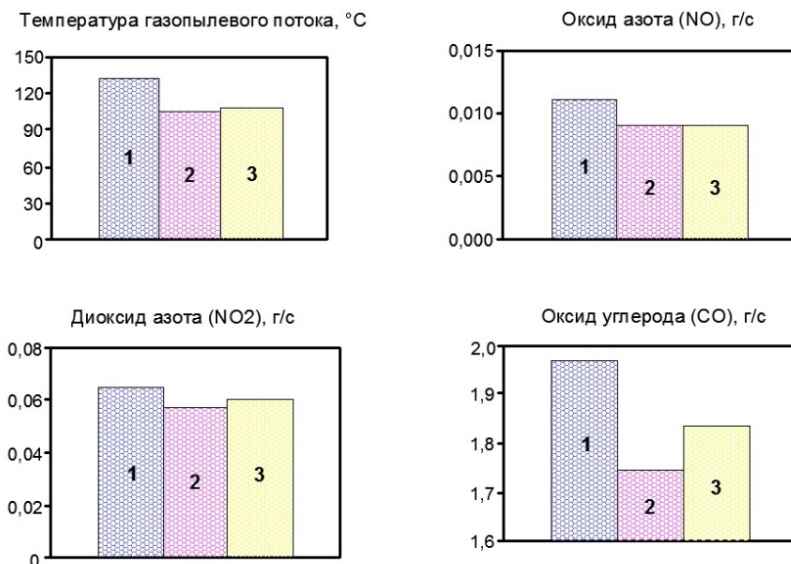


Рис. 7. Результаты измерения максимально-разовых выбросов загрязняющих веществ при приготовлении мелкозернистой асфальтобетонной смеси с гранулятом:

1 – без добавок; 2 – с добавкой «Evoterm J-1»; 3 – с добавкой «ДАД-1»

По результатам проведенных исследований было выполнено обоснование экономической эффективности от реализации совместного использования асфальтового гранулята и добавок ПАВ при приготовлении теплых асфальтобетонных смесей.

Установлено, что существенное уменьшение себестоимости асфальтобетонной смеси, помимо стоимости материалов, возможно за счет снижения энергозатрат, особенно при пониженных температурах воздуха и низкой загруженности смесительных установок, что характерно для начала и окончания сезона дорожно-ремонтных работ. При снижении температуры выпускаемой смеси на 30-40 °C, удельный расход газа снижается на 4-5 м³, что позволяет существенно снизить себестоимость производства.

В то же время для приготовления теплых асфальтобетонных смесей используются как отечественные, так и зарубежные добавки ПАВ, стоимость которых варьируется в широком диапазоне от 60 до 1200 руб. за 1 кг.

Проведенные расчеты показали, что экономический эффект от снижения энергозатрат при производстве и укладки асфальтобетонной смеси с гранулятом и добавкой «ДАД-1» составит 15-20 руб. на 1 тонну выпущенной смеси при использовании в качестве топлива природного газа и порядка 100-110 руб. на 1 тонну смеси – при использовании мазута или дизельного топлива. Однако снижение себестоимости производства 1 тонны асфальтобетонной смеси с гранулятом на 25-30 руб. за счет сокращения энергозатрат не компенсирует стоимости добавки «Evoterm J-1» как при работе установки на природном газе, так и на мазуте. Кроме того, на основе статистических данных АБЗ-4 «Капотня» также была проведена оценка экономической эффективности от снижения выбросов вредных веществ в атмосферу при производстве асфальтобетонных смесей с гранулятом. Расчеты осуществлялись путем определения размеров платы за выбросы, принимая во внимание их сокращение до 10 % за счет снижения температуры асфальтобетонной смеси. Результаты расчетов показали незначительную экономию, которая составляет 0,7 руб. на 1000 т асфальтобетонной смеси при работе АСУ на природном газе и 5,4 руб. на 1000 т смеси при работе установки на мазуте.

Снижение выбросов загрязняющих веществ пока слабо отражается на размере экологических платежей, однако в будущем, в связи с ростом различных тарифов, они могут быть более существенными.

ВЫВОДЫ

1. Выполненными исследованиями в лабораторных и производственных условиях установлено, что использование при приготовлении теплых асфальтобетонных смесей только асфальтового гранулята приводит к увеличению выбросов вредных загрязняющих веществ в отходящих технологических газах. При этом увеличивается прочность асфальтобетона и ухудшается его уплотняемость.
2. Экспериментальными исследованиями по результатам изучения влияния различных добавок с применением асфальтового гранулята установлено их положительное влияние на водостойкость и уплотняемость асфальтобетона. При этом обеспечиваются физи-

ко-механические свойства, аналогичные свойствам асфальтобетона, приготовленного с применением новых материалов.

3. Получены экспериментальные зависимости объемов выбросов загрязняющих веществ от количества асфальтового гранулята, температуры асфальтобетонной смеси и вида ПАВ. Показано, что наилучшие результаты достигаются при использовании добавок «Evoterm J-1», «Rediset WMX», «CCBit 113-AD» и «ДАД-1».
4. Данные экспериментальных исследований по свойствам асфальтобетонов и выбросам загрязняющих веществ подтверждены в производственных условиях в части возможности снижения температуры при приготовлении асфальтобетонной смеси и сокращении количества выбросов до 10 %.
5. Расчет экономической эффективности от применения усовершенствованной технологии приготовления и укладки асфальтобетонных смесей показал, что эффект от снижения температуры и уменьшения выбросов вредных веществ (без учета стоимости материалов) составляет 25-30 руб. на 1 тонну асфальтобетонной смеси при использовании в качестве топлива природного газа и 100-110 руб. при использовании жидкого топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лупанов А.П. Переработка асфальтобетона на АБЗ / А.П. Лупанов. – М.: Экон-Информ, 2012. – 210 с.*
2. *Радовский Б.С. Технология нового теплого асфальтобетона в США / Б.С. Радовский // Дорожная техника: каталог-справочник. – 2008. – С. 56-60.*
3. *Силкин В.В. Приготовление теплых асфальтобетонных смесей / В.В. Силкин, А.П. Лупанов, Э.Ю. Васильев и др.// Строительная техника и технологии. – 2013. – №5. – С. 120-125.*
4. *Крупин Н.В. Теплый асфальтобетон. Экскурс в развитие технологии / Н.В. Крупин // Технический вестник дорожного хозяйства. – 2012. – № 3. – С. 64-74.*
5. *Гладышев Н.В. Совершенствование технологии приготовления и укладки асфальтобетонных смесей с добавлением гранулята старого асфальтобетона : автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Гладышев Николай Викторович; [Место защиты: Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ)]. – М., 2015. – 22 с.*

6. Траутвайн А.И. Влияние добавок EVOTHERM, АЗОЛ 1007 и АДГЕЗОЛ 3-ТД на свойства битума/ А.И. Траутвайн, В.В. Языкина, Д.В. Землякова // ДОРОГИ И МОСТЫ. – 2014. – № 1. – С. 225-238.
7. Вест Р.С. Преимущества технологических процессов, объединяющих регенерированное асфальтовое покрытие (РАП) и теплые асфальтовые смеси (ТАС) в дорожных покрытиях / Р.С. Вест // Технический вестник дорожного хозяйства. – 2013. – № 4. – С. 43-55.
8. Худякова Т.С. Сравнительный анализ эффективности адгезионных добавок разных марок / Т.С. Худякова // Дорожная держава. – 2008. – № 6. – С. 66-69.

L I T E R A T U R A

1. Lupanov A.P. Pererabotka asfal'tobetona na ABZ / A.P. Lupanov. – M.: Jekon-Inform, 2012. – 210 s.
2. Radovskij B.S. Tehnologija novogo teplogo asfal'tobetona v SShA / B.S. Radovskij // Dorozhnaja tehnika: katalog-spravochnik. – 2008. – S. 56-60.
3. Silkin V.V. Prigotovlenie teplyh asfal'tobetonnyh smesej / V.V. Silkin, A.P. Lupanov, Je.Ju. Vasil'ev i dr.// Stroitel'naja tehnika i tehnologii. – 2013. – #5. – S. 120-125.
4. Krupin N.V. Teplyj asfal'tobeton. Jekskurs v razvitie tehnologii / N.V. Krupin // Tehniceskij vestnik dorozhnogo hozjajstva. – 2012. – # 3. – S. 64-74.
5. Gladyshev N.V. Sovershenstvovanie tehnologii prigotovlenija i ukladki asfal'tobetonnyh smesej s dobavleniem granuljata starogo asfal'tobetona : avtoreferat dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.11 / Gladyshev Nikolaj Viktorovich; [Mesto zashhity: Mosk. avtomobil.-dorozh. gos. tehn. un-t (MADI)]. – M., 2015. – 22 s.
6. Trautvain A.I. Vlijanie dobavok EVOTHERM, AZOL 1007 i ADGEZOL 3-TD na svojstva bituma/ A.I. Trautvain, V.V. Jazykina, D.V. Zemljakova // DOROGI I MOSTY. – 2014. – # 1. – S. 225-238.
7. Vest R.C. Preimushhestva tehnologiceskikh processov, ob"edinjajushhijh regenerirovannoe asfal'tovoe pokrytie (RAP) i teplye asfal'tovye smesi (TAS) v dorozhnyh pokrytijah / R.C. Vest // Tehniceskij vestnik dorozhnogo hozjajstva. – 2013. – # 4. – S. 43-55.
8. Hudjakova T.S. Sravnitel'nyj analiz jeffektivnosti adgezionnyh dobavok raznyh marok / T.S. Hudjakova // Dorozhnaja derzhava. – 2008. – # 6. – S. 66-69.

**WARM ASPHALT-CONCRETE MIXES WITH THE ADDITION OF
ASPHALT GRANULATE**

Doctor of Engineering **A.P. Lupanov**

(Asphalt plant-4 «Kapotnya»),

Ph. D. (Tech.) **N.V. Gladyshev**

(LLC «Dorexpert»),

Ph. D. (Tech.), Professor **V.V. Silkin,**

Ph. D. (Tech.), Associated Professor **S.M. Dmitriev,**

Post-graduate Student **I.O. Kozikov**

(Moscow State Automobile and Road

Technical University (MADI))

Contact information: dmitrsmist@mail.ru

The article considers the study of joint influence of asphalt granulate and special surface-active additives on regulation of physical, mechanical and technological properties of asphalt concrete. The conducted research shows that it is possible to improve asphalt concrete properties adding asphalt granulate on account of surfactants using. Simultaneously with the improvement of physical and mechanical properties the technological properties of asphalt concrete are enhanced, that enables to decrease temperature of preparation and laying of warm asphalt concrete mix and reduce pollutant emissions from asphalt plants.

Key words: *asphalt granulate, bitumen, pollutant emissions, surface-active additives, warm asphalt mixes, economic efficiency.*

Рецензент: канд. техн. наук Л.А. Горельшева (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 12.02.2018 г.