

## ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

Заместитель генерального директора **К.А. Жданов**  
(АНО «НИИ ТСК»),  
ведущий специалист **А.А. Никифоров**  
(ООО «ИТЦ»),  
студент **А.Е. Симчук**  
(Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет (МАДИ))  
Контактная информация: niitsk@niitsk.ru

---

*В статье описан мировой опыт повторного применения асфальтобетонных методом горячей регенерации. Указаны отличия в терминах «переработанный асфальтобетон» (RAP) и «асфальтобетонный гранулят». Описаны лабораторные исследования различных асфальтобетонных смесей с разным содержанием переработанного асфальтобетона (RAP).*

**Ключевые слова:** переработанный асфальтобетон, природные ресурсы, преимущества, исходное битумное вяжущее, RAP-вяжущее.

---

Возросшая потребность увеличения дорожной сети и сокращение расходов на дорожное строительство привели к поиску новых путей реализации поставленных задач. В последние десятилетия наблюдается резкий рост популярности повторного использования и регенерации асфальтобетона как технически и экологически предпочтительного способа восстановления существующих дорожных покрытий.

Повторное использование асфальтобетона – принцип не новый. Первый опыт повторного использования асфальта методом горячей регенерации впервые был документально описан в 1930-х гг. Однако вплоть до середины 1970-х гг. успехи в развитии технологии и оборудования повторного использования асфальтобетона были незначительными. Впоследствии из-за нефтяного кризиса начала 1970-х гг. и благодаря разработке и внедрению широкого ассортимента машин для фрезерования асфальтобетона, укомплектованных легко сменяемым фрезерным оборудованием интерес к повторному использованию асфальтобетона возрос, что в дальнейшем способствовало широкому распространению данной технологии.

Горячая регенерация – это процесс смешивания переработанного асфальтобетона (RAP) с новыми минеральными материалами и

битумным вяжущим в централизованной установке для получения новой (регенерированной) горячей асфальтобетонной смеси.

Горячая регенерация RAP в настоящее время является самым распространенным в мире методом регенерации асфальтобетона.

В отношении количества RAP, используемого при горячей регенерации, имеется ряд практических ограничений, связанных с техническими характеристиками асфальтобетонного завода, зерновым составом минеральной части RAP, а также физическими и реологическими свойствами битумного вяжущего в RAP [1].

Как отмечено в [2], в США RAP эффективно используется в горячих асфальтобетонных смесях с середины 1970-х гг. Современное технологическое оборудование на АБЗ позволяет производить смеси с содержанием RAP 50 % и более, однако наиболее распространенными дозировками являются от 20 % до 30 %. Опыт показывает, что при правильном проектировании и изготовлении смесей с RAP такие смеси будут работать так же хорошо, как и смеси, полученные традиционным путем (с применением 100 % новых исходных материалов).

Кроме того, применение RAP способствует решению вопроса сохранения невозобновляемых природных ресурсов. Переработка старого асфальтобетона является ресурсосберегающей технологией, которая позволяет существенно снизить материалоемкость при строительстве и ремонте асфальтобетонных слоев дорожных одежд автомобильных дорог.

В зависимости от объема RAP, используемого при приготовлении асфальтобетонной смеси, возможно существенное снижение затрат на восстановление дорожной одежды по сравнению с традиционной технологией, когда устройство покрытия выполняется с применением асфальтобетонной смеси на новых исходных материалах.

Сфера применения переработанного асфальтобетона в мире достаточно широка. Как указано в [3], использование переработанного асфальтобетона в новых смесях имеет экологическую и экономическую эффективность. Кроме того, к достоинствам применения переработанного асфальтобетона можно отнести следующее:

- сохранение невозобновляемых природных ресурсов;
- сохранение окружающей среды и снижение количества отходов;
- энергосбережение;
- экономия средств по сравнению с традиционными методами восстановления асфальтобетонных покрытий.

Экологическая эффективность обусловлена замещением минеральных и органических материалов материалами, содержащимися в RAP, уменьшением объемов утилизации отходов. Замещение материалов

в асфальтобетонных смесях позволяет сохранить невозобновляемые природные ресурсы.

Экономическая эффективность обусловлена сокращением расходов на транспортировку материалов, замещением дорогостоящего битумного вяжущего и инертных материалов.

В 2021 г. на территории Российской Федерации был введен в действие комплекс национальных стандартов, распространяющихся на переработанный асфальтобетон (RAP). Данный комплекс состоит из следующих стандартов:

- ГОСТ Р 59118.1-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Переработанный асфальтобетон (RAP). Технические условия»;
- ГОСТ Р 59118.2-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Переработанный асфальтобетон. Методика выбора битумного вяжущего при применении переработанного асфальтобетона (RAP) в асфальтобетонных смесях»;
- ГОСТ Р 59119-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод выделения битумного вяжущего при помощи роторного испарителя».

Разработанный комплекс национальных стандартов на переработанный асфальтобетон (RAP) гармонизирован с межгосударственными стандартами, разработанными для соблюдения требований технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011).

Разработанными национальными стандартами введены однозначные понятия для терминов «асфальтобетонный гранулят», «асфальтобетонный лом», «излишки асфальтобетонной смеси» и «переработанный асфальтобетон (RAP)», а именно:

- асфальтобетонный гранулят – это материал, получаемый путем холодного фрезерования асфальтобетонного покрытия;
- асфальтобетонный лом – это куски асфальтобетона размером более толщины покрытия, полученные при разборке асфальтобетонных покрытий специализированной техникой;
- излишки асфальтобетонной смеси – это возвращенная с места укладки асфальтобетонная смесь или забракованная на производстве асфальтобетонная смесь;
- переработанный асфальтобетон (RAP) – это материал, получаемый путем сортировки и/или дробления с последующим

грохочением излишков асфальтобетонной смеси, асфальтобетонного гранулята или асфальтобетонного лома на дробильно-сортировочных установках.

Из рассмотренных определений следует, что переработанный асфальтобетон (RAP) – это качественный, подготовленный и сортированный дорожно-строительный материал с известными свойствами. Стандарты на переработанный асфальтобетон (RAP) позволили установить его отличия от асфальтобетонного гранулята, хотя ранее многие специалисты полагали, что это одно и то же.

Важной особенностью утвержденных национальных стандартов от ранее действующих предварительных национальных стандартов (ПНСТ 244, ПНСТ 245 и ПНСТ 246) является расширение области применения. Предварительные национальные стандарты предусматривали применение RAP только в асфальтобетонных смесях, подобранных по системе объемно-функционального проектирования. В настоящее время область применения распространяется на RAP, используемый в качестве компонента при производстве асфальтобетонных смесей, запроектированных как по методологии объемно-функционального проектирования, так и методологии, основанной на европейском опыте, а именно:

- ГОСТ Р 58401.1 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования;
- ГОСТ Р 58401.2 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования;
- ГОСТ Р 58406.1 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия;
- ГОСТ Р 58406.2 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия.

В рамках проведения работ в АНО «НИИ ТСК» была разработана программа исследований и сформирована доказательная база для подтверждения возможности применения RAP в условиях Российской Федерации.

Программа работ предусматривала проведение следующих этапов:

- отбор проб RAP;
- определение остаточных свойств вяжущих в отобранных материалах;
- заготовка исходных битумных вяжущих разных марок и определение их свойств;
- проектирование, приготовление и исследование асфальтобетонных смесей на различных битумных вяжущих с различным количеством RAP;
- анализ свойств расчетных марок битумного вяжущего для регенерированной асфальтобетонной смеси с фактическими значениями битумного вяжущего, извлеченного из регенерированной асфальтобетонной смеси.

Для выполнения работ, касающихся RAP, отбирали на асфальтобетонном заводе (**рис. 1**) из подготовленных штабелей с фр. 0-8 мм и фр. 8-16 мм (**рис. 2**). Следует отметить, что RAP был доставлен с одного объекта, поэтому каменный материал и битумное вяжущее в обеих фракциях были одинаковыми.



*Рис. 1. Отбор проб RAP на асфальтобетонном заводе*



*Рис. 2. Пробы RAP, отобранные на асфальтобетонном заводе*

Состав каждой фракции RAP определялся методом экстрагирования в соответствии с ГОСТ Р 58401.19. В процессе экстрагирования получали раствор битумного вяжущего с растворителем для последующего выделения вяжущего от растворителя.

Результаты определения зернового состава минеральной части переработанного асфальтобетона представлены в **табл. 1**.

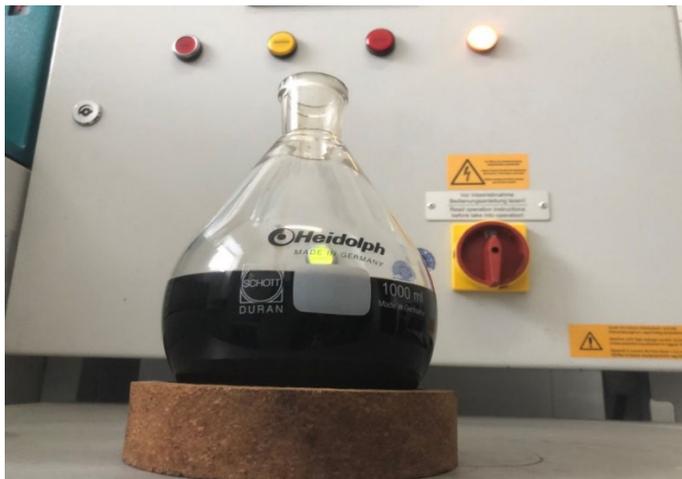
Содержание вяжущего в RAP фр. 0-8 мм составило 8,8 %, а во фр. 8-16 – 3,7 %.

Из раствора битумного вяжущего, полученного в соответствии с ГОСТ Р 58401.19 (**рис. 3**), на роторном испарителе был выделен битумный вяжущий материал (**рис. 4**).

**Таблица 1**

*Зерновые составы минеральной части переработанного асфальтобетона*

<i>Размер ячейки сита, мм</i>	<i>Частные остатки, %</i>	
	<i>RAP 0-8 мм</i>	<i>RAP 8-16 мм</i>
<i>22,4</i>	0,0	0,0
<i>16,0</i>	0,0	0,0
<i>11,2</i>	0,0	18,4
<i>8,0</i>	0,0	27,8
<i>4,0</i>	19,0	30,5
<i>2,0</i>	21,5	4,4
<i>1,0</i>	14,5	2,4
<i>0,5</i>	9,2	1,6
<i>0,25</i>	5,9	1,2
<i>0,125</i>	5,0	1,2
<i>0,063</i>	4,7	0,7
<i>Менее 0,063</i>	20,2	11,9



*Рис. 3. Раствор битумного вяжущего, полученного в соответствии с ГОСТ Р 58401.19*



*Рис. 4. Роторный испаритель*

Затем выделенное из раствора RAP-вяжущее исследовали для определения его фактических критических температур, т.е. температур, при которых значения показателей достигают значения нормы, а также значений глубины проникания иглы и температуры размягчения. Результаты испытаний представлены в **табл. 2**.

*Результаты испытаний RAP-вяжущего*

<i>Наименование показателя</i>		<i>Фактическое значение</i>
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при	25°C	30
Температура, °С	Размягчения	70,7
Критическая высокая температура, °С		86,6
Критическая высокая температура (RTFOT-вяжущее), °С		84,3
Критическая средняя температура, °С		14,8
Критическая низкая температура, °С, по жесткости S		-26,4
Критическая низкая температура, °С, по параметру m		-16,4
Фактическая марка, PG		84,3-16,4

Для выполнения работ было приобретено новое битумное вяжущее марки БНД 50/70 и БНД 100/130 по ГОСТ 33133. С целью определения возможности смешивания RAP-вяжущего с новыми исходными битумными вяжущими и расчета возможной комбинированной марки вяжущего в регенерируемом асфальтобетоне были проведены испытания исходных битумных вяжущих. Результаты испытаний битума БНД 50/70 на соответствие требованиям ГОСТ Р 58400.1 представлены в **табл. 3**, а на соответствие требованиям ГОСТ 33133 – в **табл. 4**.

Таблица 3

*Результаты испытаний битума БНД 50/70 на соответствие требованиям ГОСТ Р 58400.1*

<i>Наименование показателя</i>		<i>Требования ГОСТ Р 58400.1</i>	<i>Фактическое значение</i>	<i>Метод испытания</i>
Динамическая вязкость, Па·с	При 135°С	Не более 3 Па·с	0,570	По ГОСТ 33137
Температура вспышки, °С		Не менее 230 °С	286	По ГОСТ 33141
Сдвиговая устойчивость, $G^*/\sin \delta$ , при 10 рад/с, кПа	При 64°С	$G^*/\sin \delta \geq 1,0$ кПа	1,72	По ГОСТ Р 58400.10
	При 70°С		0,87	
Критическая высокая температура (исходное вяжущее), °С			68,8	По ГОСТ Р 58400.3
Изменение массы после старения, %		Не более 1 %	0	По ГОСТ 33140
Сдвиговая устойчивость после старения, $G^*/\sin \delta$ , при 10 рад/с, кПа	При 64°С	$G^*/\sin \delta \geq 2,2$ кПа	4,00	По ГОСТ 33140 По ГОСТ Р 58400.10
	При 70°С		1,92	
Критическая высокая температура (RTFOT-вяжущее), °С			68,9	По ГОСТ Р 58400.3
Усталостная устойчивость после старения по методу PAV, $G^* \cdot \sin \delta$ , при 10 рад/с, кПа	При 16°С	$G^* \cdot \sin \delta \leq 5000$ кПа	6377	По ГОСТ Р 58400.5
	При 19°С		4715	По ГОСТ Р 58400.10
Критическая средняя температура, °С			18,4	По ГОСТ Р 58400.3
Низкотемпературная устойчивость: жесткость, S (60) ползучесть, m	При -12°С	S (60), не более 300 МПа	90,3	По ГОСТ Р 58400.8
		m, не менее 0,300	0,326	
	При -18°С	S (60), не более 300 МПа	204,4	
		m, не менее 0,300	0,299	
Критическая низкая температура, °С, по жесткости S			-30,8	По ГОСТ Р 58400.3
Критическая низкая температура, °С, по параметру m			-27,8	
Марка по ГОСТ Р 58400.1				PG 64-22
Фактическая марка				PG 68,8-27,8

Таблица 4

*Результаты испытаний битума БНД 50/70 на соответствие требованиям ГОСТ 33133*

<i>Наименование показателя</i>	<i>Требования ГОСТ 33133</i>	<i>Фактическое значение</i>
<i>Глубина проникания иглы, 25 °С</i>	51-70	62
<i>Глубина проникания иглы, 0 °С, см</i>	Не менее 18	22
<i>Температура размягчения по кольцу и шару, °С</i>	Не ниже 51	52,8
<i>Растяжимость, 0 °С</i>	Не менее 3,5	4,2
<i>Растяжимость, 25 °С</i>	Не менее 60	91
<i>Хрупкость, °С</i>	Не выше -16	-17
<i>Температура вспышки, °С</i>	Не ниже 230	286
<i>Изменение температуры размягчения после старения, °С</i>	Не более 7	4
<i>Индекс пенетрации</i>	От -1,0 до +1,0	0,1

Результаты испытаний битума БНД 100/130 на соответствие требованиям ГОСТ Р 58400.1 представлены в **табл. 5**, а на соответствие требованиям ГОСТ 33133 – в **табл. 6**.

Таблица 5

*Результаты испытаний битума БНД 100/130 на соответствие требованиям ГОСТ Р 58400.1*

<i>Наименование показателя</i>		<i>Требования ГОСТ Р 58400.1</i>	<i>Фактическое значение</i>	<i>Метод испытания</i>
Динамическая вязкость, Па·с	При 135 °С	Не более 3 Па·с	0,322	По ГОСТ 33137
Температура вспышки, °С		Не менее 230 °С	313	По ГОСТ 33141
Сдвиговая устойчивость, $G^*/\sin \delta$ , при 10 рад/с, кПа	При 58 °С	$G^*/\sin \delta \geq 1,0$ кПа	1,81	По ГОСТ Р 58400.10
	При 64 °С		0,88	
Критическая высокая температура (исходное вязущее), °С			62,9	По ГОСТ Р 58400.3

<i>Наименование показателя</i>		<i>Требования ГОСТ Р 58400.1</i>	<i>Факти- ческое значение</i>	<i>Метод испытания</i>
Изменение массы после старения, %		Не более 1 %	0,1	По ГОСТ 33140
Сдвиговая устойчивость после старения, $G^*/\sin \delta$ , при 10 рад/с, кПа	При 64°C	$G^*/\sin \delta \geq 2,2$ кПа	2,20	По ГОСТ 33140
	При 70°C		1,11	По ГОСТ Р 58400.10
Критическая высокая температура (RTFOT-вяжущее), °C			64,0	По ГОСТ Р 58400.3
Усталостная устойчивость после старения по методу PAV, $G^* \cdot \sin \delta$ , при 10 рад/с, кПа,	При 7°C	$G^* \cdot \sin \delta \leq 5000$ кПа	5816	По ГОСТ Р 58400.5 По ГОСТ Р 58400.10
Критическая средняя температура, °C			8,5	По ГОСТ Р 58400.3
Низкотемпературная устойчивость: жесткость, S (60) ползучесть, m	При -18°C	S (60), не более 300 МПа	86,9	По ГОСТ Р 58400.8
		m, не менее 0,300	0,311	
	При -24°C	S (60), не более 300 МПа	175,1	
		m, не менее 0,300	0,290	
Критическая низкая температура, °C, по жесткости S			-38,6	По ГОСТ Р 58400.3
Критическая низкая температура, °C, по параметру m			-31,1	
Марка по ГОСР Р 58400.1				PG 58-28
Фактическая марка				PG 62,9-31,1

Таблица 6

*Результаты испытаний битума БНД 100/130 на соответствие требованиям ГОСТ 33133*

<i>Наименование показателя</i>	<i>Требования ГОСТ 33133</i>	<i>Фактическое значение</i>
<i>Глубина проникания иглы, 25 °С</i>	101-130	101
<i>Температура размягчения по кольцу и шару, °С</i>	Не ниже 45	46,6
<i>Растяжимость, 0 °С</i>	Не менее 4,0	4,2
<i>Температура хрупкости, 0 °С</i>	Не выше -20	-21
<i>Температура вспышки, °С</i>	Не ниже 230	313
<i>Изменение температуры размягчения после старения, %</i>	Не более 7	7

Для проведения исследований асфальтобетонных смесей с применением RAP и без него были запроектированы и испытаны асфальтобетонные смеси SP-16 по ГОСТ Р 58401.1, SMA-16 по ГОСТ Р 58401.2, A16Bт по ГОСТ Р 58406.2 и ЩМА-16 по ГОСТ Р 58406.1. В процессе исследований вяжущее из всех приготовленных асфальтобетонных смесей было извлечено и испытано. Количество RAP в смесях обеих фракций варьировалось в разных соотношениях и добавлялось таким образом, чтобы зерновой состав минеральной части смесей был максимально приближен к зерновому составу исходных смесей, которые проектировались без RAP.

Количество RAP-вяжущего в комбинированном битумном вяжущем для смесей SP-16 и SMA-16, %, рассчитывалось по формуле (1):

$$R_{RAP} = \frac{RAP \times C}{A} \quad , \quad (1)$$

где

*RAP* – содержание переработанного асфальтобетона в асфальтобетонной смеси, %;

*R<sub>RAP</sub>* – содержание RAP-вяжущего в комбинированном битумном вяжущем, %;

*A* – общее содержание битумного вяжущего в асфальтобетонной смеси, %;

*C* – содержание битумного вяжущего в переработанном асфальтобетоне, %.

Расчетная марка комбинированного битумного вяжущего была рассчитана по формуле (2):

$$T_{\text{проект}} = R_{RAP} * (T_{RAP} - T_{\text{исходное}}) + T_{\text{исходное}} , \quad (2)$$

где

$R_{RAP}$  – содержание RAP-вяжущего в комбинированном битумном вяжущем, в долях;

$T_{\text{исходное}}$  – верхнее или нижнее соответственно значение марки исходного битумного вяжущего;

$T_{\text{проект}}$  – верхнее или нижнее значение расчетной марки проектного битумного вяжущего для проектируемой смеси;

$T_{RAP}$  – верхнее или нижнее значение марки RAP-вяжущего.

Расчетные значения глубины проникания иглы и температуры размягчения по кольцу и шару комбинированного битумного вяжущего для смесей А16Вт и ЩМА-16 были рассчитаны по формуле (3) и (4) соответственно.

$$lg\Pi_c = a\lg\Pi_1 + b\lg\Pi_2 , \quad (3)$$

где

$\Pi_c$  – расчетная глубина проникания иглы вяжущего в регенерируемой асфальтобетонной смеси;

$\Pi_1$  – глубина проникания иглы выделенного из переработанного асфальтобетона вяжущего;

$\Pi_2$  – глубина проникания иглы добавляемого в смесь исходного битума;

$a$  и  $b$  – массовые доли вяжущего из переработанного асфальтобетона  $a$  и добавляемого исходного битума  $b$  в смесь.

$$T_c = aT_1 + bT_2 , \quad (4)$$

где

$T_c$  – расчетная температура размягчения вяжущего в регенерируемой асфальтобетонной смеси;

$T_1$  – температура размягчения выделенного из переработанного асфальтобетона вяжущего;

$T_2$  – температура размягчения добавляемого в смесь исходного битума;

$a$  и  $b$  – массовые доли вяжущего из переработанного асфальтобетона  $a$  и добавляемого исходного битума  $b$  в смесь.

В табл. 7-12 показаны результаты проведенных исследований с различным количеством RAP с применением разных марок битума.

Таблица 7

*Результаты испытаний асфальтобетонной смеси SP-16 с применением битума БНД 50/70 с различным содержанием RAP и без него*

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58401.1</i>	<i>Фактическое значение</i>			
		<i>SP-16 без RAP</i>	<i>SP-16 + 10 % RAP</i>	<i>SP-16 + 20 % RAP</i>	<i>SP-16 + 40 % RAP</i>
<i>Содержание воздушных пустот (Va), %</i>	4,0 ± 0,3	4,2	4,1	3,8	2,1
<i>Содержание пустот в минеральном заполнителе (ПМЗ), %</i>	Не менее 13,5	14,7	14,1	13,6	13,0
<i>Содержание пустот, заполненных битумным вяжущим (ПНБ). %</i>	От 65 до 75	71,4	70,9	72,1	83,8

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58401.1</i>	<i>Фактическое значение</i>			
		<i>SP-16 без RAP</i>	<i>SP-16 + 10 % RAP</i>	<i>SP-16 + 20 % RAP</i>	<i>SP-16 + 40 % RAP</i>
<i>Отношение пыль/вяжущее, Н</i>	От 0,8 до 1,6	1,4	1,3	1,4	1,6
<i>Коэффициент водостойкости</i>	Не менее 0,80	0,96	0,96	0,93	0,87
<i>Глубина колеи, мм</i>	Не более 3,5	2,5	2,1	2,4	1,5
<i>Расчетная марка комбинированного битумного вяжущего, PG</i>	-	-	72,1-25,4	73,3-24,7	74,9-23,3
<i>Фактическая марка вяжущего, полученная из смеси после экстрагирования, PG</i>	-	81,4-26,0	82,7-24,2	83,7-23,3	85,1-19,5

Таблица 8

*Результаты испытаний асфальтобетонной смеси SP-16 с применением битума БНД 100/130 и содержанием RAP 40 % и без него*

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58401.1</i>	<i>Фактическое значение</i>	
		<i>SP-16 без RAP</i>	<i>SP-16 + 40 % RAP</i>
<i>Содержание воздушных пустот (Va), %</i>	4,0 ± 0,3	3,8	1,8
<i>Содержание пустот в минеральном заполнителе (ПМЗ), %,</i>	Не менее 13,5	14,2	12,9
<i>Содержание пустот, заполненных би- тумным вяжущим (ПНБ), %</i>	От 65 до 75	73,2	86,0
<i>Отношение пыль / вяжущее, Н</i>	От 0,8 до 1,6	1,4	1,6
<i>Коэффициент водостойкости</i>	Не менее 0,80	0,97	0,92
<i>Глубина колеи, мм</i>	Не более 3,5	3,2	1,7
<i>Расчетная марка комбини- рованного битумного вяжущего</i>	-	-	71,3-25,3
<i>Фактическая марка вяжущего, получен- ная из смеси по- сле экстрагиро- вания, РГ</i>	-	80,4-27,8	82,1-20,3

Таблица 9

*Результаты испытаний асфальтобетонной смеси SMA-16 с применением битума БНД 50/70 с различным содержанием RAP и без него*

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58401.2</i>	<i>Фактическое значение</i>			
		<i>SMA-16 без RAP</i>	<i>SMA-16 + 10 % RAP</i>	<i>SMA-16 + 20 % RAP</i>	<i>SMA-16 + 40 % RAP</i>
<i>Содержание воздушных пустот (Va), %</i>	4,0 ± 0,3	3,9	4,0	3,7	3,2
<i>Содержание пустот в минеральном заполнителе (ПМЗ), %</i>	Не менее 17	17,9	17,7	17,1	16,3
<i>Стекание вяжущего, %</i>	Не более 0,3	0,06	0,04	0,01	0,01

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58401.2</i>	<i>Фактическое значение</i>			
		<i>SMA-16 без RAP</i>	<i>SMA-16 + 10 % RAP</i>	<i>SMA-16 + 20 % RAP</i>	<i>SMA-16 + 40 % RAP</i>
<i>Коэффициент водостойкости</i>	Не менее 0,80	0,98	0,96	0,97	0,92
<i>Глубина колеи, мм</i>	Не более 3,5	2,3	2,2	2,2	1,8
<i>Расчетная марка комбини- рованного битумного вяжу- щего</i>	-	-	70,5-26,6	71,5-25,8	73,8-24,1
<i>Фактическая марка вяжу- щего, полученная из смеси после экстрагирования, РГ</i>	-	77,2-26,2	78,8-25,4	79,9-25,0	83,7-23,8

*Результаты испытаний асфальтобетонной смеси А16Вт с применением битума БНД 50/70 с различным содержанием RAP и без него*

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58406.2</i>	<i>Фактическое значение</i>			
		<i>А16Вт без RAP</i>	<i>А16Вт + 10 % RAP</i>	<i>А16Вт + 20 % RAP</i>	<i>А16Вт + 40 % RAP</i>
<i>Содержание воздушных пустот (Va), %</i>	От 2,5 до 4,5	4,2	4,1	4,1	3,2
<i>Содержание пустот в ми- неральном заполнителе (ПМЗ), %</i>	Не менее 12,0	14,8	14,7	14,5	14,0
<i>Содержание пустот заполненных битумным вяжущим (ПНБ), %</i>	От 67 до 80	71,6	72,1	71,7	77,1

<i>Коэффициент водостойкости</i>	Не менее 0,85	0,94	0,91	0,92	0,86
<i>Глубина колеи, мм</i>	Не более 4,0	3,2	3,3	2,9	2,0
<i>Глубина проникания иглы, 0,1мм при 25°С</i>	Расчетное значение	-	57	54	49
	Фактическое значение	34	36	32	31
<i>Температура размягчения, °С</i>	Расчетное значение	-	54,8	56,0	58,7
	Фактическое значение	61,8	62,8	63,9	67,2

Таблица 11

*Результаты испытаний асфальтобетонной смеси А16Вт с применением битума БНД 100/130 с содержанием RAP 40 % и без него*

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58406.2</i>	<i>Фактическое значение</i>	
		<i>А16Вт без RAP</i>	<i>А16Вт + 40 % RAP</i>
<i>Содержание воздушных пустот (Va), %</i>	От 2,5 до 4,5	3,7	2,8
<i>Содержание пустот в минеральном заполнителе (ПМЗ), %</i>	Не менее 12,0	14,4	13,8
<i>Содержание пустот заполненных битумным вяжущим (ПНБ), %</i>	От 67 до 80	74,3	79,7
<i>Коэффициент водостойкости</i>	Не менее 0,85	0,95	0,87
<i>Глубина колеи, мм</i>	Не более 4,0	3,5	2,5
<i>Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25°С</i>	Расчетное значение	-	68
	Фактическое значение	42	40
<i>Температура размягчения, °С</i>	Расчетное значение	-	54,5
	Фактическое значение	60,6	63,2

Таблица 12

*Результаты испытаний асфальтобетонной смеси ЩМА-16 с применением битума БНД 50/70 с различным содержанием RAP и без него*

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58406.1</i>	<i>Фактическое значение</i>			
		<i>ЩМА-16 без RAP</i>	<i>ЩМА-16 + 10 % RAP</i>	<i>ЩМА-16 + 20 % RAP</i>	<i>ЩМА-16 + 40 % RAP</i>
<i>Содержание воздушных пустот (Va), %</i>	От 2,0 до 4,0	3,2	3,0	2,5	1,7
<i>Содержание пу- стот в минераль- ном заполнителе (ПМЗ), %</i>	Не менее 16,0	16,6	16,5	16,1	15,2
<i>Стекание вяжу- щего, %</i>	Не более 0,20	0,11	0,10	0,06	0,01

<i>Показатель</i>	<i>Требования ГОСТ Р 58406.1</i>	<i>Фактическое значение</i>			
		<i>ЩМА-16 без RAP</i>	<i>ЩМА-16 + 10 % RAP</i>	<i>ЩМА-16 + 20 % RAP</i>	<i>ЩМА-16 + 40 % RAP</i>
<i>Коэффициент водо- стойкости</i>	Не менее 0,85	0,99	0,99	0,97	0,90
<i>Глубина колеи, мм</i>	Не более 4,0	2,7	2,9	2,3	1,5
<i>Глубина проника- ния иглы, 0,1мм, при 25 °С</i>	Расчетное зна- чение	-	57	55	49
	Фактическое значение	39	38	36	33
<i>Температура размягчения, °С</i>	Расчетное зна- чение	-	54,8	55,9	58,6
	Фактическое значение	59,7	60,5	61,9	64,7

В результате работ было определено, что при применении в составе асфальтобетонных смесей до 20 % RAP возможно добиться минимальных отклонений от кривой гранулометрического состава исходной асфальтобетонной смеси, запроектированной без применения RAP. При этом в регенерируемой асфальтобетонной смеси не происходит существенных изменений объемных и эксплуатационных показателей.

Остаточные свойства выделенного вяжущего из смесей с RAP в количестве до 20 % также не имеют серьезных отличий от выделенного вяжущего из исходной смеси. Это свидетельствует о возможности применения RAP в количестве до 20 % без дополнительных исследований и расчетов марок комбинированного вяжущего.

В случае применения RAP в количестве 40 % ни одна из запроектированной смесей не соответствовала требованиям нормативной документации даже при применении менее вязкого битумного вяжущего. В каждом случае при увеличении количества RAP происходит снижение значения содержания воздушных пустот. С учетом того, что содержание битумного вяжущего в смесях находилось всегда в неизменных пределах, то уменьшение воздушных пустот может быть следствием большого содержания пылевидной составляющей в RAP.

При увеличении в составе асфальтобетонных смесей содержания RAP закономерно снижаются значения показателей «Средняя глубина колеи» и «Коэффициент водостойкости» за счет увеличения вязкости комбинированного битумного вяжущего. Разумеется, снижение значения глубины колеи, с одной стороны, может показаться положительным эффектом, но, с другой стороны, это свидетельствует о повышении жесткости асфальтобетонной смеси, что отрицательно сказывается на ее усталостных и низкотемпературных свойствах. Следовательно, при высоком содержании RAP в составе асфальтобетонных смесей целесообразно рассмотреть возможность применения «омолаживающих» добавок, которые снижают вязкость применяемого вяжущего, тем самым изменяя и свойства асфальтобетона.

К сожалению, в работе не получилось добиться полного соответствия расчетных марок (свойств) вяжущего с фактически полученными при выделении из асфальтобетонной смеси. Математический расчет не позволяет учесть всех параметров, которые влияют на свойства битумных вяжущих при их нагреве, перемешивании с горячими каменными материалами и хранении смеси. В связи с этим в каждом случае применения RAP более 20 % рекомендуется проводить фактические испытания комбинированного битумного вяжущего, полученного именно в тех

пропорциях, в которых они будут применяться при строительстве автомобильной дороги.

В заключение хочется пожелать, чтобы подрядные организации начали активнее применять переработанный асфальтобетон при устройстве оснований и покрытий автомобильных дорог. Это приведет не только к экономии их денежных средств, но и будет способствовать сохранению природных ресурсов в нашей стране.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Asphalt Recycling and Reclaiming Association. Basic Manual Asphalt Recycling.*
2. *NCHRP Report 673 A Manual for Design of Hot-Mix Asphalt with Commentary.* – Washington D.C., 2011. – 284 p.
3. *Отчет о Научно-исследовательской работе, Контракт ФДА № 47/7 от 19.01.2016 г.*

### **LITERATURA**

1. *Asphalt Recycling and Reclaiming Association. Basic Manual Asphalt Recycling.*
2. *NCHRP Report 673 A Manual for Design of Hot-Mix Asphalt with Commentary.* – Washington D.C., 2011. – 284 p.
3. *Otchet o Nauchno-issledovatel'skoj rabote, Kontrakt FDA № 47/7 ot 19.01.2016 g.*

.....  
**ASPHALT CONCRETE RECYCLING WITH THE USE OF  
HOT REGENERATION METHOD**

*Deputy General Director **K.A. Zhdanov**  
(ANO «NII TSK»),  
Leading Specialist **A.A. Nikiforov**  
(«ITC» LLC),  
Student **A.E. Simchuk**  
(Moscow Automobile and Road State  
Technical University (MADI))  
Contact information: niitsk@niitsk.ru*

*The article describes the world implementation experience of the asphalt concrete recycling with the use of hot regeneration method. Differences are indicated in terms of «Reclaimed asphalt pavement (RAP)» and «asphalt granulate». Laboratory studies of various asphalt concrete mixtures with different contents of reclaimed asphalt pavement (RAP) are described.*

**Key words:** *recycled asphalt concrete, natural resources, advantages, initial bitumen binder, RAP binder.*

---

Рецензент: канд. техн. наук С.В. Полякова (ФАУ «РОСДОРНИИ»).  
Статья поступила в редакцию: 30.03.2022 г.