МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР
ПО АВТОМОБИЛЬНЫМ ДОРОГАМ



АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

РЕГЕНЕРАЦИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Тематическая подборка

Москва 2003

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПО АВТОМОБИЛЬНЫМ ДОРОГАМ

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ

РЕГЕНЕРАЦИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Тематическая подборка

Москва 2003

Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации. – Изд. офиц. – Отрасл. дор. метод. документ / М-во трансп. Российской Федерации, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). – М., 2002. – 56 с.

Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог предусматривают ремонт дорожных одежд нежесткого типа, требующих усиления, традиционным способом и способами термопрофилирования. Основным недостатком этих способов является образование во вновь уложенных или восстановленных слоях покрытия отраженных трещин и, в конечном итоге, сокращение срока службы отремонтированного покрытия по сравнению с расчетным сроком его службы.

С появлением дорожных фрезерных машин (холодных фрез) за рубежом стали широко применять способ «переукладки», заключающийся в удалении растрескавшихся и потерявших несущую способность асфальтобетонных слоев дорожной одежды и устройстве новых монолитных слоев. Этот способ позволяет получить дорожную одежду со сроком службы, аналогичным достигаемому при новом строительстве. Недостатком являются

большой расход асфальтобетонной смеси и высокая стоимость работ.

Последним достижением в области ремонта дорожных одежд нежёсткого типа является технология глубокой холодной регенерации их, позволяющая эффективно повторно использовать материалы старой дорожной одежды. Проведение восстановительных работ без разогрева старого материала наносит минимальный ущерб окружающей среде и резко снижает энергозатраты. По экономичности эта технология не имеет себе равных. В России опыт применения технологии холодной регенерации пока незначителен.

Настоящие Методические рекомендации являются первым методическим документом, обобщающим зарубежный опыт и результаты исследований и опытных работ, проведенных Росдорнии.

В Методических рекомендациях изложены сведения по области применения новой технологии; оценке свойств асфальтобетонного гранулята, получаемого в результате измельчения старого покрытия методом холодного фрезерования; добавкам, применяемым для приготовления асфальтогранулобетонных смесей; подбору состава этих смесей; оценке свойств асфальтогранулобетона; методам его испытания; правилам производства работ и др.

Приведены также технические требования к асфальтогранулобетону.

Извлечение

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Технология холодной регенерации конструктивных слоев дорожной одежды (ХР) заключается в измельчении покрытия (в некоторых случаях с захватом части основания) преимущественно посредством холодного фрезерования; введении в образовавшийся асфальтобетонный гранулят (АГ) при необходимости нового скелетного материала, вяжущего и, если требуется, других добавок; перемешивании всех компонентов с получением асфальтогранулобетонной смеси (АГБ-смеси); распределении её в виде конструктивного слоя и уплотнении, после чего АГБ-смесь превращается в асфальтогранулобетон (АГБ).

Все перечисленные технологические операции осуществляют, как правило, на дороге звеном специализированных машин.

1.2. Смешение компонентов можно выполнять и в полустационарной установке вблизи дороги. Однако это связано с разрывом технологического процесса и добавлением операций: погрузки и транспортировки АГ к месту приготовления смеси, его штабелирования, подачи в смесительную установку и транспортировки АГБ-смеси к месту укладки, что приводит к существенному удорожанию работ.

1.3. Отличительной особенностью технологии ХР является восстановление монолитности (сплошности) пакета асфальтобетонных слоев дорожной одежды на всю или часть толщины без разогрева асфальтобетона или АГ.

1.4. Поверх регенерированного слоя укладывают замыкающий (защитный) слой или асфальтобетонное покрытие.

1.5. Устранение трещин в старом покрытии на всю или большую часть глубины в результате его регенерации исключает появление отраженных трещин в вышеукладываемых слоях покрытия (копирование трещин). При традиционном методе усиления дорожной одежды, предусматривающем укладку новых слоев поверх старого покрытия, появление отраженных трещин неизбежно.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ

2.1. В зависимости от вида нового вяжущего, вводимого в АГ при приготовлении АГБ-смесей, их подразделяют на следующие типы:

А – без добавления вяжущего;

Э – с добавлением битумной эмульсии;

В – с добавлением вспененного битума;

Б – с добавлением разогретого битума;

М – с добавлением минерального вяжущего (чаще всего цемента или извести);

К – с добавлением комплексного вяжущего (чаще всего битумной эмульсии и цемента).

АГБ перечисленных типов отличаются своими расчетными

характеристиками и скоростью формирования равновесной структуры (структурообразования).

2.2. В зависимости от массовой доли щебня или гравия (зерна каменного материала крупнее 5 мм), входящего в состав асфальтобетона, из которого получен АГ, АГБ-смеси подразделяют на щебеночные с содержанием щебня 35% и более и песчаные – менее 35%.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1. Показатели физико-механических свойств АГБ, в зависимости от категории автомобильной дороги и типа смеси, должны соответствовать указанным в табл. 1.

Таблица 1

Наименованиепоказателя

Наименование показателя	Нормы для категории автомобильной дороги											
	I-П			III				IV				
	для смесей типа											
	Э	М, К	В	Э	М, К	В	Б	Э	М, К	В	Б	А
1. Предел прочности при сжатии, не менее, МПа, при температуре 20°С в возрасте:												
а) 1 сут	-	-	1,4	-	-	1,4	1,2	-	-	1,4	1,2	0,7
б) 7 сут	1,4	2,0	-	1,4	2,0	-	-	1,4	2,0	-	-	-
2. То же, при 50°С в возрасте:												
а) 1 сут	-	-	0,7	-	-	0,6	0,5	-	-	0,6	0,5	0,4
б) 7 сут	0,7	0,8	-	0,6	0,7	-	-	0,5	0,7	-	-	-
3. Коэффициент водостойкости, не менее	0,7		0,7	0,6		0,6		0,6		0,6		0,6
4. Водонасыщение по объему, %, не более	10		10	12		12		14		14		16

3.2. Гранулометрический состав АГБ-смеси должен соответствовать требованиям, установленным в ГОСТ 9128 для пористых и высокопористых щебеночных смесей, за исключением

частиц мельче 0,071 мм, содержание которых не нормируется.

3.3. Для дорог I-II категорий применяют щебеночные смеси, а для дорог III-IV категорий допускается применение песчаных АГБ-смесей. Если в АГ, используемом для приготовления щебеночных смесей, содержание щебня меньше 35%, при приготовлении АГБ-смеси необходимо добавление недостающей фракции щебня.

4. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ

Асфальтобетонный гранулят

4.1. Содержание в АГ гранул крупнее 50 мм не должно превышать 5% по массе.

Битум

4.2. Для приготовления смесей с использованием органического вяжущего применяют вязкие и жидкие нефтяные дорожные битумы, отвечающие требованиям соответственно ГОСТ 22245 и ГОСТ 11955.

4.3. Марку битума выбирают в зависимости от типа смеси и дорожно-климатической зоны в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Тип смеси	Марка битума для дорожно-климатической зоны		
	I	II, III	IV, V
Б	БНД 200/300 СГ, МГ, МГО 130/200	БНД 200/300 СГ, МГ, МГО 130/200	БНД 130/200 СГ, МГ, МГО 70/130 и 130/200
В	БНД 130/200	БНД 90/130 БНД 130/200	БНД 60/90 БНД 90/130
Э, К	БНД 90/130 БНД 130/200	БНД 60/90 БНД 90/130	БНД 60/90 БНД 90/130

Битумная эмульсия

4.4. Для приготовления смесей типов Э и К используют эмульсии, отвечающие требованиям ГОСТ 18659.

В смесях типа Э применяют катионные эмульсии классов ЭБК-2, ЭБК-3 и анионные эмульсии классов ЭБА-2, ЭБА-3. Более предпочтительными являются катионные эмульсии.

В смесях типа К применяют преимущественно катионные эмульсии класса ЭБК-3.

Цемент

4.5. Для приготовления смесей типов М и К в качестве минерального вяжущего чаще всего применяют портландцемент не ниже марки 400, соответствующий требованиям ГОСТ 10178.

Щебень, песок, минеральный порошок

4.6. При необходимости увеличения содержания в АГБ-смеси щебня (см. п. 3.3) к АГ добавляют щебень, отвечающий требованиям ГОСТ 8267.

4.7. Для корректировки гранулометрического состава АГБ-смеси, с целью уменьшения пористости АГБ, иногда целесообразно добавление к АГ песка и (или) минерального порошка. Эти материалы должны отвечать требованиям соответственно ГОСТ 8736 и 16557.

Вода

4.8. Для приготовления смесей всех типов, кроме типа Б, в ряде случаев требуется добавление воды. Обычно применяют воду, пригодную для питья.

5. ОБЛАСТЬ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

5.1. Технология ХР является наиболее экономичной технологией восстановления первоначальной прочности дорожной одежды нежёсткого типа или её усиления.

Показанием для применения технологии ХР служит трещиновато-блочное состояние пакета монолитных слоев дорожной одежды. Растрескивание происходит в процессе эксплуатации дороги под влиянием циклического воздействия низких температур и движущегося транспорта. Оно сопровождается снижением прочности дорожной конструкции.

5.2. Часто на покрытии отсутствуют видимые трещины (кроме сквозных поперечных температурных), хотя дорожная одежда требует усиления. Это объясняется тем, что усталостные трещины, возникающие в подошве пакета монолитных слоев, еще не достигли в своём развитии поверхности покрытия.

В первом приближении о степени скрытого растрескивания пакета монолитных слоев дорожной одежды можно судить по его модулю упругости, рассчитанному исходя из данных фактического (измеренного) общего модуля упругости дорожной конструкции и расчётных характеристик конструктивных слоев согласно ОДН 218.046-01. Если рассчитанный модуль при 10°С (E^{10}) меньше 1100 МПа, то можно считать, что пакет монолитных слоев дорожной одежды имеет трещиновато-блочное строение или близкое к нему. Дополнительным подтверждением этого служит неравенство

$$(E^{20}/E^{10})>0{,}60, \qquad (1)$$

где E^{20} – рассчитанный модуль пакета монолитных слоев при 20°С.

5.3. Проведению ремонтных работ с применением технологии ХР в обязательном порядке предшествует разработка соответствующего проекта.

5.4. Толщина регенерированного слоя не должна быть меньше 6 см. Верхний предел ограничен возможностью уплотнения слоя.

5.5. Работы выполняют при температуре окружающего воздуха не ниже +10°С. Кратковременный моросящий дождь не является помехой.

6. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

6.1. Большинство существующих дорог, требующих усиления, имеют искажённый поперечный профиль и неудовлетворительную продольную ровность, что отражается на комфорте и безопасности движения и усложняет содержание покрытия, особенно в зимнее время. Поэтому в проекте должны быть предусмотрены мероприятия по выравниванию покрытия.

6.2. На стадии сбора исходных данных осуществляют работы, включающие: оценку прочности дорожной одежды в соответствии с ОДН 218.046-01 или Указаниями ВСН 52-89; отбор кернов для определения продольного и поперечного профилей толщин пакета монолитных слоев дорожной одежды и вида асфальтобетона, входящего в эти слои; бурение скважин для определения толщин остальных конструктивных слоев дорожной одежды и оценки состояния составляющих их материалов, в том числе грунта земляного полотна и основания; создание цифровой модели местности.

6.3. На дорогах с приведенной расчётной интенсивностью воздействия нагрузки Np > 2000 ед./сут регенерированный слой рассматривают в качестве верхнего монолитного слоя основания, на который должно быть уложено двухслойное асфальтобетонное покрытие общей толщиной 9-10 см.

На дорогах с 500 < Np < 2000 ед./сут на регенерированный слой может быть уложено однослойное покрытие из плотного асфальтобетона толщиной 4-5 см.

На дорогах с Np < 500 ед./сут регенерированный слой рассматривают в качестве слоя покрытия, на котором должна быть устроена поверхностная обработка.

6.4. Задавшись типом и толщиной покрытия, укладываемого поверх регенерированного слоя, рассчитывают его толщину по допускаемому упругому прогибу в соответствии с ОДН 218.046-01 с учетом требуемого модуля упругости $E_{тр}$, рассчитанного общего модуля упругости на поверхности слоя, подстилающего регенерированный, и ориентировочного значения кратковременного модуля упругости регенерирующего слоя при соответствующей расчётной температуре.

Регенерированный слой проверяют на сопротивление растяжению при изгибе при температуре покрытия 0°С.

Ориентировочные расчетные значения кратковременного модуля упругости ($E_р$) и среднего сопротивления растяжению при изгибе ($R_и$), при времени воздействия нагрузки 0,1 с, для разных типов АГБ-смссей приведены в табл. 3 и 4 (в дальнейшем подлежат уточнению).

Таблица 3

Тип смеси	Расчётные значения кратковременного модуля упругости $E_р$, МПа, при температуре покрытия, °С				
	+10	+20	+30	+40	+50
А	1200	700	400	250	210
Б	1600	900	570	420	380
Э, В	1800	1100	700	520	470
К	2300	1400	920	700	630
М	2800	1800	1200	920	840

Таблица 4

Тип смеси	Характеристики для расчёта на изгиб при температуре покрытия 0°	
	Кратковременный модуль упругости Ер, МПа	Среднее сопротивление растяжению при изгибе $R_и$, МПа
А	1600	0,5
Б	2100	0,9
Э, В	2500	1,1
К	3200	1,3
М	3600	1,7

6.5. В зависимости от толщины пакета асфальтобетонных слоев ремонтируемой дорожной одежды (h_c) могут возникнуть следующие случаи:

а) h_c существенно больше, чем толщина регенерированного слоя, полученная по расчету (h_p).

В этом случае старое покрытие целесообразнее всего отфрезеровать с учётом выравнивания его в продольном и поперечном направлениях (выравнивающее фрезерование).

Глубину фрезерования (h_e) по оси проезжей части определяют таким образом, чтобы оставшийся пакет асфальтобетонных слоев был в среднем близок по толщине к h_p, т.е. $h_в \approx h_c - h_p$.

После выравнивающего фрезерования осуществляют регенерационное фрезерование на глубину, близкую к h_p.

При построении соответствующей картограммы возможны местами захват части слоя основания или оставление части старого асфальтобетонного слоя с учётом получения регенерируемого слоя требуемой толщины.

Добытый в процессе выравнивающего фрезерования АГ должен быть повторно использован (например, для устройства выравнивающего слоя), что удешевляет производство ремонтных работ.

Если увеличение затрат за счёт более глубокого фрезерования, чем это требуется для выравнивания, не компенсируется доходом от повторного использования АГ, можно назначить $h_в = 0$. В этом случае местами требуется устройство выравнивающего слоя.

Оставшийся после регенерации слой нетронутого старого асфальтобетона включают в расчёт дорожной одежды, принимая его расчётный модуль упругости $E_р$ = 500 МПа.

Недостатком такого конструктивного решения является то, что в случае превышения средней толщины оставшегося слоя (h_0) общей толщины пакета новых слоев (включая регенерированный) возникает опасность появления отражённых трещин.

б) h_c сопоставима или меньше $h_р$.

В этом случае предусматривают комплексное выравнивание, сочетающее выравнивающее фрезерование с устройством выравнивающего слоя, после чего осуществляют регенерацию выровненного покрытия с захватом на всю ширину или часть ширины слоя основания.

Уменьшение толщины слоя основания учитывают при расчёте дорожной одежды.

7. ПОДБОР СОСТАВА АСФАЛЬТОГРАНУЛОБЕТОНА

Отбор пробы

7.1. На основе запроектированной конструкции дорожной одежды и осмотра кернов, отобранных на стадии сбора исходных данных, намечают участки, на которых зерновой состав пакета асфальтобетонных слоев, подлежащих регенерации, находится в пределах одного типа смеси по ГОСТ 9128 (А, Б, В или Д).

7.2. Из намеченных участков отбирают пробы АГ путём фрезерования покрытия.

Если выбранная конструкция дорожной одежды предусматривает удаление верхней части асфальтобетонных слоев (см. рис. 1, а), которая отличается по типу смеси от нижележащей, пробу отбирают в два приёма. Сначала удаляют фрезерованием верхнюю часть покрытия, а затем отбирают пробу АГ из слоя, подлежащего регенерации.

Масса пробы с одного участка должна быть не менее 30 кг.

Выбор типа АГБ

7.3. В зависимости от имеющегося оборудования и заложенного в проект расчётного модуля упругости намечают для исследования один или несколько типов АГБ-смеси.

Битум, входящий в состав добавок для смесей типов Э, В, Б и К, устраняет излишнюю жесткость состарившегося плёночного битума, окружающего гранулы; экранирует обнажившиеся в результате фрезерования поверхности зёрен минерального материала; обеспечивает сцепление зёрен заполнителя, добавляемого для увеличения содержания щебня (п. 4.6) или корректировки гранулометрического состава АГБ-смеси (п. 4.7), между собой и с АГ; заполняет частично межгранулярные пустоты, уменьшая водонасыщение АГБ; снижает межгранулярное трение, способствуя лучшей упаковке гранул при уплотнении АГБ-смеси; способствует залечиванию микродефектов, возникающих в процессе эксплуатации регенерированного слоя.

Цемент, входящий в состав смесей типов М и К, образует в присутствии воды цементный камень, который частично заполняет межгранулярные пустоты; армирует битумную плёнку, окружающую гранулы; кристаллически связывается с не обработанными битумом зернами, содержащимися в АГ и заполнителе.

7.4. Наиболее технологичны смеси типа Э. Их чаще всего применяют для регенерации слоев, преимущественно состоящих из АГ. К недостаткам следует отнести возможность колееобразования при тяжёлом движении.

7.5. Смеси типа К более сложны в изготовлении, но АГБ из таких смесей более устойчив к колееобразованию. Применение указанных смесей позволяет снизить толщину регенерированного слоя.

Слой из смесей типа К быстрее формируется, что особенно важно при неблагоприятных погодных условиях.

7.6. Смеси типа М чаще всего применяют, когда при регенерации захватывается часть слоя основания из не обработанного битумом материала (более 30% от толщины регенерируемого слоя).

АГБ из такой смеси отличается высокими расчётными характеристиками, однако в регенерированном слое возможно появление усадочных и температурных трещин.

Приготовление смесей

7.7. Из пробы АГ отсеивают крупные гранулы через сито с отверстиями диаметром 40 мм.

7.8. Смеси заданного состава готовят при температуре 20±2°С в лабораторной лопастной мешалке или вручную. Перемешивание заканчивают, когда смесь станет однородной.

7.9. Если проектом предусмотрено добавление к АГ щебня или других минеральных заполнителей или при регенерации возможен захват части основания (более 20% по массе), соответствующий материал, просеянный, как указано в п. 7.7, перемешивают с АГ в требуемой пропорции.

7.10. При приготовлении АГБ-смесей АГ должен иметь 2%-ную влажность. Это имитирует его естественное состояние, при котором влажность обычно колеблется в пределах 1-3%. Если проба АГ имеет меньшую влажность, то в него добавляют недостающее количество воды, а если большую влажность, то его подсушивают на воздухе или в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией при температуре не выше 40°С до требуемой влажности. Перед приготовлением АГБ-смеси в этом случае необходимо остудить навеску АГ до температуры 20±2°С.

Для упрощения дозирования воды пробу АГ можно заранее высушить до постоянного веса.

При приготовлении АГБ-смеси типа М в АГ с влажностью 2% вводят сначала цемент, а после его равномерного распределения в смеси – дополнительное количество воды.

7.11. При приготовлении АГБ-смеси типа К в АГ с влажностью 2% вводят сначала эмульсию, а после её равномерного распределения в смеси – цемент.

Если по принятой технологии предполагается введение цемента в виде суспензии, то в лабораторных условиях в АГ вводят цементную суспензию с соотношением В/Ц=0,5 и эмульсию одновременно.

Предварительно определяют совместимость этих двух типов вяжущего путём добавления 150 г суспензии (100 г цемента + 50 г воды) в 100 г эмульсии и непрерывного их перемешивания в стеклянном стакане стеклянной палочкой.

Процесс распада эмульсии должен начаться не ранее чем через 4 мин от начала перемешивания.

Изготовление образцов и подготовка их к испытанию

7.12. Физико-механические свойства АГБ определяют на цилиндрических образцах диаметром 71,4 мм (площадью 40 см^2), изготовленных прессованием под давлением 7 МПа, в стандартных формах для изготовления асфальтобетонных образцов (ГОСТ 12801), при температуре 20±2°С. Время выдерживания образца при заданном давлении – 3 мин.

7.13. Высота образца должна составлять 71,4±1,5 мм. Ориентировочное количество смеси на образец 610-620 г. Его уточняют при изготовлении пробного образца как для асфальтобетона (п. 3.5. ГОСТ 12801).

7.14. В процессе прессования излишек воды должен выделяться через зазор между нижним пуансоном и формой. Если зазор недостаточен, на пуансоне необходимо проделать с четырех сторон вертикальные прорези шириной и глубиной 2 мм.

7.15. После изготовления образцы хранят в помещении при температуре 20±2°С и влажности воздуха 60-80% до испытания.

7.16. Перед испытанием образцы высушивают до постоянного веса на воздухе или в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией при температуре не выше 40°С. В последнем случае перед проведением испытаний их следует охладить до комнатной температуры.

8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ ХР

В соответствии с Указаниями ВСН 52-89, если покрытие находится в неудовлетворительном состоянии по ровности, при проектировании усиления дорожной одежды минимальную толщину слоя усиления назначают с учётом перспективной интенсивности движения на полосу, приведенной к расчётным нагрузкам (традиционный способ). Для дорог II категории, например, толщина такого слоя составляет 12-14 см.

При ХР для обеспечения требуемой прочности дорожной одежды обычно достаточно на регенерированный слой уложить асфальтобетонный слой износа толщиной 4-5 см или выполнить поверхностную обработку.

Для оценки экономической эффективности ХР достаточно сравнить прямые затраты на устройство слоя усиления из пористого асфальтобетона толщиной 8-10 см и затраты, связанные с ХР.

Стоимость производства работ традиционным методом в среднем на 20 руб. за 1 м^2 ниже, чем в случае ХР. С другой стороны, экономия асфальтобетона при отказе от слоя толщиной даже 6 см во втором случае позволяет снизить затраты примерно на 140 руб. за 1 м^2.

В структуре затрат на ХР затраты на добавки к АГ составляют 70-80% и на амортизационные отчисления – около 10%. В среднем стоимость 1 м^2 ХР колеблется в пределах 4-5 у.е. (120-150 руб.), а 6-сантиметрового слоя усиления – около 5 у.е. (150 руб.). Чем выше интенсивность движения на ремонтируемой дороге, тем выше экономическая эффективность метода ХР.

Бахрах Г.С. Методы испытания асфальтогранулобетона и технические требования к нему: Сб. науч. тр. / ГП Росдорнии. – М., 2000, вып. 10. – С. 115-122.

В статье дан анализ методов изготовления и испытания образцов из материалов, укрепляемых холодным способом, а также технические требования к этим материалам, применяемые в различных странах.

На основе выполненного анализа и исследований автором предложены соответствующие методы изготовления и испытания образцов асфальтогранулобетона (АГБ) и оценки несущей способности регенерированного слоя.

Сформулированы технические требования к АГБ, базирующиеся пока на традиционных методах испытания.

В качестве основного метода испытания как лабораторных образцов АГБ, так и кернов из АГБ-слоя, рекомендован «бразильский метод», осуществимый с использованием отечественных прессов.

Извлечение

1. При прессовании образцов АГБ необходимо обеспечивать отвод излишка влаги. Давление прессования для стандартных

образцов принято равным 7 МПа. При подборе состава целесообразно также готовить параллельную серию образцов, прессуемых под давлением 3 МПа.

2. Предложены технические требования к АГБ, на первом этапе базирующиеся на традиционных методах испытания асфальтобетона.

3. Наиболее предпочтительным методом механических испытаний АГБ является испытание цилиндрических образцов и кернов на раскол по образующей (бразильский метод). При использовании гидравлического пресса следует нормировать не скорость холостого хода поршня, а скорость нагружения.

4. Для оценки расчетных параметров АГБ (как и АБ) целесообразно использовать Ноттингемский прибор или прибор аналогичного типа.

5. АГБ, включающий в свой состав цемент, следует испытывать на морозостойкость.

6. В качестве экспресс-метода оценки качества регенерированного слоя (до устройства защитного слоя) рекомендуется использовать прибор с лёгким падающим грузом (компактометр).

Бахрах Г.С. Регенерация покрытий и дорожных одежд нежесткого типа // Наука и техника в дор. отрасли. – 1998. – № 3. – С. 18-21.

Извлечение

Наиболее распространенным способом восстановления или увеличения прочности дорожной одежды в России и странах СНГ является устройство слоев усиления поверх старого покрытия. Практика показала порочность такого метода, так как уже через один-два года в новых слоях появляются отраженные (копирующие) трещины как криогенного, так и механогенного происхождения. За рубежом чаще применяют способ, названный нами способом переукладки, при котором растрескавшиеся слои удаляют фрезерованием, а на их место укладывают новые. Срок службы восстановленной этим способом дорожной одежды соответствует расчетному, а стоимость ремонта ниже, чем при традиционном способе усиления, благодаря частичной компенсации затрат путем реализации «добытого» АГ.

Способы регенерации еще более удешевляют ремонтные работы, но срок службы регенерированной дорожной одежды зависит от глубины омоноличивания конструктивных слоев. Автором разработана модель расчета, позволяющая выбрать способ регенерации с учетом стоимости работ и предполагаемого срока службы восстановленной дорожной одежды или регенерированного слоя.

Способы термопрофилирования применяют для регенерации верхнего поврежденного слоя покрытия. Глубина омоноличивания здесь не превышает 4-5 см. Наибольшего развития эти способы получили с появлением комплекта машин, включающего асфальторазогреватель и термосмеситель («ремиксер») фирмы «Виртген» (ФРГ), в начале 80-х годов. Один из наиболее распространенных способов термопрофилирования – способ термосмешения – применяют, когда дорожная одежда не требует усиления. Он позволяет скорректировать зерновой состав старого асфальтобетона, устранить последствия старения битума, повысить фрикционную способность замыкающего слоя за счет поворота щебенок и обеспечить связь между регенерированным и нижележащим слоями старого покрытия.

В Гипродорнии был разработан способ термопластификации с использованием в качестве пластификатора отработанного моторного масла [2]. Этот способ позволяет регенерировать асфальтобетон без добавления новой смеси [3]. Введение пластификатора компенсирует также увеличение жесткости битума, связанное с разогревом покрытия.

Последнее усовершенствование термосмесителя позволило в процессе термопрофилирования усиливать дорожную одежду. Способ получил название «Ремикс Плюс» или по нашей терминологии – способ термоусиления. Покрытие разогревают, фрезеруют, АГ перемешивают с добавляемым битумом пониженной вязкости, распределяют по проезжей части, укладывают сверху дополнительный слой новой асфальтобетонной смеси и уплотняют одновременно оба слоя. Все операции (кроме окончательной укатки) осуществляют термопрофилировочным комплектом за один проход. При этом достигается высокая ровность покрытия в продольном

направлении без использования натянутой струны за счет удлиненной базы термосмесителя (7 м). Кроме того, удается исправить поперечный профиль проезжей части, если перепад отметок не слишком высок.

В процессе эксплуатации дороги монолитные слои дорожной одежды постепенно утрачивают свою сплошность и переходят в трещиновато-блочное состояние. Этот процесс сопровождается снижением общего модуля упругости дорожной конструкции. Расчет по упомянутой выше модели показывает, что в регенерированном на глубину 5 см по способу термоусиления слое и замыкающем слое толщиной 5 см из новой смеси через 9 лет появятся отраженные трещины, что приведет к необходимости очередного усиления дорожной одежды. Срок службы слоя, регенерированного способом термосмешения с добавлением небольшого количества новой смеси, в указанном случае снижается до двух лет.

К технологии горячей регенерации относится также способ, предложенный в Италии и заключающийся в холодном фрезеровании покрытия, разогреве и переработке АГ в самоходной смесительной установке с добавлением битума, восстановителя и новых минеральных материалов (если требуется), укладке и уплотнении смеси. Все технологические операции выполняются непосредственно на дороге. Этот способ позволяет, в отличие от способов термопрофилирования, омоноличивать покрытие на большую глубину. Хотя эффективность его выше, чем способ термоусиления, он не получил широкого распространения из-за громоздкости оборудования.

Бахрах Г.С. Свойства асфальтогранулобетона (АГБ) – продукта холодной регенерации дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием. – М., 1999. – 28 с. – (Автомоб. дороги: Науч.-техн. информ. сб. / Информавтодор; Вып. 12).

В данном выпуске информационного сборника рассмотрены свойства асфальтогранулобетона (АГБ) – продукта холодной регенерации дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием, сравниваются результаты, полученные за рубежом и в исследо-

ваниях автора статьи на единой методологической основе, а также сделан вывод о целесообразности испытания АГБ на раскол и, при использовании цемента, на морозостойкость.

АГБ получается в результате холодной регенерации дорожных одежд нежесткого типа и является продуктом укрепления измельченного старого асфальтобетонного покрытия – асфальтобетонного гранулята (АГ) – или его смеси с необработанным «белым» минеральным материалом – заполнителем [1].

К настоящему времени накоплен большой объем результатов исследований свойств АГБ и других укрепленных материалов. Из-за различия в методах испытания полученные результаты иногда трудно сопоставимы. Автором сделана попытка их анализа на единой методологической основе.

В табл. 1 представлены результаты испытаний образцов из дробленого каменного материала, укрепленного различными видами вяжущего холодным способом. Образцы-цилиндры были уплотнены 75 ударами стандартного молота с лицевой стороны (по Маршаллу), выдержаны сутки в формах при комнатной температуре и трое суток после извлечения из форм при температуре 60°С и испытаны при температуре 25°С.

Как следует из приведенной таблицы, снижение прочности водонасыщенных образцов проявляется в большей степени при испытании образцов на раскол, чем при определении стабильности по Маршаллу.

По совокупности свойств лучшие результаты показали смеси с добавкой битумной эмульсии и вспененного битума в комбинации с цементом. Смесь со вспененным битумом обеспечивает несколько более высокие показатели, чем смесь с эмульсией. Хотя смеси со вспененным битумом значительно дешевле, чем смеси с эмульсией, в производственных условиях качество смешения в первом случае хуже (в смеси наблюдаются сгустки битума). Кроме того, для повышения уплотняемости смеси вспененный битум должен относиться к маловязким сортам битума, что снижает сопротивляемость материала колееобразованию.

Таблица 1

Наименование показателя	Величина показателя для вида и содержания вяжущего				
	цемента 3%	битумной эмульсии 3,5%	битумной эмульсии 3,5% + цемента 2%	вспененного битума 3,5%	вспененного битума 3,5% + цемента 1%
Прочность при сжатии, МПа	3	Нет данных			
Прочность сухих образцов при раскоде, МПа	0,25	0,20	0,50	0,25	0,50
То же, водонасыщенных образцов, МПа	Нет данных	0,08	0,25	0,10	0,30
Стабильность по Маршаллу сухих образцов, кН	То же	10	20	20	20
То же, водонасыщенных образцов, кН	-"-	4	18	10	15
Модуль упругости, ГПа	5,0	1,5	3,5	2,5	3,5

Для сравнения значения модулей упругости, полученные в работе (при температуре 18°С и частоте приложения нагрузки 1 Гц), составили: для образцов из дробленого каменного материала, укрепленного битумом (горячий способ) – 10 ГПа, вспененным битумом – 4,5 ГПа и битумной эмульсией – 2,5 ГПа. Эти данные подтверждают более высокие расчетные параметры для смесей, укрепленных вспененным битумом, по сравнению со смесями, укрепленными битумной эмульсией.

ВЫВОДЫ

1. Из различных типов АГБ по совокупности свойств лучшие результаты показывают смеси, укрепленные катионной битумной эмульсией или вспененным битумом в сочетании с цементом.

Хотя АГБ на вспененном битуме дешевле, чем АГБ на эмульсии, и свойства АГБ в первом случае предпочтительней, добиться однородности АГБ на вспененном битуме в производственных условиях труднее.

2. На свойства АГБ типов Э и Б (на вспененном битуме) с преобладающим содержанием АГ большее влияние оказывает содержание нового, а не старого битума.

3. Влияние цемента на механические свойства АГБ типов М и К тем сильнее, чем больше содержание в смеси необработанных зерен щебня (заполнителя), захватываемого в процессе холодной регенерации из слоя основания или добавляемого.

4. Чем выше содержание АГ в АГБ-смеси, тем выше водостойкость АГБ при прочих равных условиях.

5. Наиболее приемлемое соотношение по массе между содержанием цемента и эмульсионного битума в АГБ типа К – 60/40-50/50.

6. Эффективность влияния цемента на механические свойства АГБ типов М и К выше, если объемная доля вяжущего (цементного камня) или вяжущих (цементного камня + эмульсионного битума) не превышает межгранулярной пустотности АГБ.

7. Водоцементное отношение в АГБ типов М и К не должно быть меньше 0,5.

8. При прочих равных условиях прочность АГБ зависит от показателя межгранулярной пустотности и с ее уменьшением увеличивается. В АГБ, содержащих цемент, эта зависимость меньше выражена.

9. Для оценки прочности АГБ предпочтительнее испытание образцов на раскол по образующей.

10. Прочность АГБ при изгибе при температуре 10°С (расчетная характеристика) примерно в 2,7 раза выше, чем прочность при расколе.

11. Температурная чувствительность прочности АГБ типа К меньше, чем у асфальтобетона.

12. Прочность АГБ типа К в возрасте 28 сут примерно в 1,5 раза выше, чем в 7-дневном возрасте, что позволяет в раннем возрасте судить о проектной прочности.

13. Показатель усталостной чувствительности АГБ к уровню нагружения n при температуре 10°С можно принять ориентировочно равным 4.

14. Повторные испытания на сжатие лабораторных образцов позволяют судить о восстанавливаемости механических свойств материала. У АГБ типа К, содержащего до 4% цемента, даже после третьего испытания восстанавливается 80% межгранулярных коагуляционных связей; 20-25% восстановленной прочности можно отнести за счет твердения искусственного заполнителя в виде цементного камня.

15. Появление торцевых вертикальных трещин у повторно испытанных образцов АГБ, содержащего 5% цемента, свидетельствует о хрупком характере разрушения и является сигналом в критическом содержании цемента.

16. Рост прочности АГБ в покрытии продолжается в течение многих месяцев. На автомагистрали «Беларусь», например, за 9 мес прочность кернов при расколе возросла на 70%, а на участке без замыкающего слоя – только на 25%, что свидетельствует о деструктивном процессе, связанном с циклами замораживания-оттаивания в случае доступа влаги к АГБ-слою, содержащему цемент.

17. *Отношение прочностей при сжатии и расколе при* температуре 5°С для АГБ типа К составило 7,8, что позволило сравнить результаты, полученные при испытании по отечественной методике, с результатами, нормируемыми в ФРГ. Значение этого отношения не является инвариантным и будет отличаться для других температур, скоростей нагружения и составов АГБ.

18. Прочность кернов, отобранных на автомагистрали «Беларусь», при расколе для пористого асфальтобетона оказалась примерно в 1,7 раз выше, чем для АГБ типа К, что учтено при корректировке расчетного значения параметра $R_{ц}$. Модули же

упругости, определенные при испытании на раскол, оказались для сравниваемых материалов близкими.

19. Однородность АГБ на автомагистрали «Беларусь» по прочности (коэффициент вариации) оказалась не ниже, чем у пористого асфальтобетона.

Бахрах Г.С. Технологические особенности холодной регенерации дорожных одежд нежесткого типа // Автомоб. дороги: Информ. сб. / Информавтодор. – 2001. – Вып. 3. – С. 36-53.

В данной статье рассмотрены различные технологические схемы ХР, предусматривающие применение в качестве ведущих машин стабилизера WR 2500 или смесителя-укладчика CR 4500 фирмы Wirtgen (ФРГ). Первый выпускается серийно и имеется во многих дорожных организациях России. Что касается второго, то это более тяжелая и дорогая машина, но обеспечивающая более высокое качество работ. Фирма изготавливает ее по специальному заказу.

Ориентировочная стоимость стабилизера – 1,1 млн немецких марок (DM), трейлера – 350 тыс. DM и тягача – 130 тыс. DM. Стоимость смесителя-укладчика – около 3 млн DM. Аренда стабилизера обойдется примерно в 50 тыс. DM, а в комплекте с суспензатором – 65 тыс. DM в месяц. Возможен также лизинг этих машин.

Извлечение

Способ ХР может быть реализован с использованием мобильной установки. Благодаря возможности близкого расположения ее от места укладки применение транспортных средств для доставки АГ и асфальтогранулобетонной смеси (АГБ-смеси) сводится к минимуму.

Здесь более подробно остановимся на стабилизере WR 2500, получающем все большее распространение, и смесителе-укладчике CR 4500, применяемом на дорогах высоких категорий.

Стабилизер WR 2500 смонтирован на четырехколесном шасси с большеразмерными шинами и приводом на каждое колесо. Мотор работает на дизельном топливе. Основным рабочим органом

стабилизера является фрезерный барабан со сменными резцедержателями для измельчения слоев дорожной одежды и перемешивания измельченного материала с вяжущим. Геометрия рабочей камеры, закрывающей фрезерный барабан, может изменяться в зависимости от глубины обработки или фрезерования. Поднимаемый и опускаемый гидроцилиндрами щит разравнивает перемешанный материал. Чтобы измельчить крупные куски асфальтобетона, часто образуемые при фрезеровании поврежденных покрытий, рабочая камера оборудована дробильной планкой с изменяемым между нею и окружностью вращения резцов расстоянием.

При неизменном направлении вращения фрезерного барабана фрезерование можно осуществлять как по направлению движения машины, так и против. Регуляторы поперечного уклона и глубины фрезерования автоматически поддерживают эти параметры на заданных значениях. Дозированная подача эмульсии и воды производится двумя независимыми друг от друга системами с микропроцессорным регулированием. По дисплею машинист может контролировать все необходимые параметры процесса. Принтер выдает суммарные данные о пройденном пути, обработанной площади, количестве обработанного материала и добавок. Машина оборудована системой для разогрева и вспенивания битума.

Число проходов ведущей машины при ХР зависит от ширины регенерируемой полосы и проезжей части стороны движения (от оси дороги). Обычно в начале делают два крайних прохода, а затем средний (по спирали). Полосы должны перекрываться на ширину, большую как минимум на 5 см толщины регенерируемого слоя.

Толщина регенерированного слоя всегда больше, чем глубина регенерационного фрезерования из-за разности в плотностях АГБ и исходного пакета битумосвязных слоев. Ее можно определить по формуле

$$h_p=[h_a(100+Д)\gamma_a]/(100\gamma_p), \qquad (1)$$

где h – толщина АГБ-слоя, см;

h_a – глубина регенерационного фрезерования, см;

Д – массовая доля добавок, исключая воду, % (сверх 100% АГ) (в смесях с цементом его долю увеличивают в 1,3 раза с учетом воды, вступающей в реакцию);

γ_a и $\gamma_р$ – средние плотности пакета слоев соответственно старого покрытия и регенерированного слоя, г/см^3.

При конструировании дорожной одежды в проект закладывают расчетную толщину АГБ-слоя, т.е. $h_р$. Тогда глубину регенерационного фрезерования $h_а$ определяют по формуле

$$h_а = (100h_р\gamma_р)/[(100+Д)\gamma_а]. \qquad (2)$$

Например, при $h_р$=15 см, содержании в АГБ цемента в количестве 3% и 60%-ной эмульсии в количестве 2%, $\gamma_а$=2,37 г/см^3 и $\gamma_р$=2,15 г/см^3, Д=1,3Ц+2х0,6=5,1%, а $h_а \approx 13$ см.

Если АГБ-смесь разравнивается без предварительного уплотнения виброплитой, то толщина слоя в рыхлом теле должна быть примерно на 30% больше толщины окончательно уплотненного слоя $h_р$. В противном случае толщина недоуплотненного слоя уменьшится после уплотнения примерно на 6%.

При производстве работ по способу смешения в установке операции выравнивающего и регенерационного фрезерования совмещают, весь АГ вывозят на притрассовый склад и укладывают в виде конусов или призм высотой до 2 м во избежание слеживания. Перед использованием кучи необходимо рыхлить погрузчиком. За рубежом для этой цели применяют специальный измельчитель, разминающий крупные куски, но не дробящий гранулы. Время доставки смеси, включающей цемент, не должно превышать двух часов во избежание увеличения ее жесткости.

Уплотнение АГБ-слоя осуществляют в следующем порядке:

- вибро- или комбинированным катком массой 6-8 т – 2-4 прохода;
- гладковальцовым катком массой 10-18 т – 3-5 проходов;
- катком на пневмошинах массой от 16 т – свыше 4 проходов.

Уплотнение продолжают до прекращения осадки слоя. Если смесь переувлажнена, следует выждать некоторое время перед уплотнением для испарения излишка влаги. После прохода катка на пневмошинах иногда требуется окончательное выравнивание поверхности автогрейдером.

При использовании АГБ-смесей, не содержащих минерального вяжущего, движение транспортных средств может быть открыто сразу после окончания уплотнения, а при использовании

АГБ типов М и К – по достижению слоем минимальной несущей способности 180 МПа (>80 МПа при определении методом легкого падающего груза).

Укладку защитного или промежуточного слоя покрытия по регенерированному слою из АГБ-смесей типа Э рекомендуется отложить на 3-4 недели для испарения излишней влаги и «созревания» АГБ, а для АГБ-смесей, содержащих минеральное вяжущее, – по достижению слоем минимальной несущей способности (через двое-трое суток). Если укладка дополнительного слоя задерживается, то целесообразно выполнить подгрунтовку регенерированного слоя с обработкой его высевками или песком (легкая поверхностная обработка). Это особенно актуально в случае применения АГБ типов М и К. В случае применения АГБ типа Э поверхностную обработку выполняют не ранее, чем через несколько дней после ХР. Необходимо иметь в виду, что устройство дополнительных слоев нельзя откладывать надолго, так как они учитываются при расчете дорожной конструкции и снижают прогибы. В любом случае нельзя допускать работу дорожной одежды под движением общественного транспорта без дополнительных слоев в период снижения несущей способности грунта земляного полотна.

Смеситель-укладчик CR 4500 был успешно применен при ХР дорожной одежды на автомагистрали М-1 «Беларусь».

Технология ХР с использованием стабилизера WR 2500 освоена в Архангельской, Московской, Омской, Саратовской и Тюменской областях, а также в Краснодарском крае.

Поскольку для России ХР дорожных одежд является новой технологией, на этот вид работ пока отсутствуют нормы и расценки. Попытка разработать соответствующие нормы была сделана в ФГУП СНПЦ «Росдортех» (г. Саратов). Получилось, что скорость потока с комплектом машин из стабилизера и суспензатора при перемешивании смеси (второй проход стабилизера) оказалась в 3 раза меньше, чем при фрезеровании (первый проход стабилизера) (1,4 против 4 м/мин). Это вызывает большие сомнения, так как при фрезеровании сопротивление движению стабилизера больше, чем при смешении. В Тюменской области, например, скорость потока

при ХР однопроходным способом на глубину 16 см с использованием эмульсии была принята 3,5 м/мин. При скорости 4 м/мин нарушалась плавность хода стабилизера.

Стоимость 1 м регенерированного слоя составила в Саратовской области примерно 2 долл. США (56 р.) при использовании в качестве вяжущего цемента и глубине фрезерования 20 см, а в Тюменской области – 4,3 долл. США (121 р.). Она, как отмечалось в работе, зависит, главным образом, от стоимости вяжущего.

При сравнении различных вариантов усиления дорожных одежд, а также при проведении торгов следует пока ориентироваться на цифру 5 долл. США за 1 м^2 регенерированного слоя.

Бахрах Г. С. Холодная регенерация дорожных одежд нежесткого типа. – М., 1999. – 85 с. – (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып. 6).

Извлечение

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ХОЛОДНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

За рубежом интерес к технологии ХР начал возрастать в конце 70-х – начале 80-х годов. Развитие способов ХР шло по двум направлениям: совершенствование оборудования и расширение видов вяжущего и регенерирующих добавок.

До появления машин для холодного фрезерования асфальтобетонного покрытия (холодных фрез) покрытие разламывали; кусковой материал размельчали в передвижных молотковых дробилках за 2-3 прохода до максимального размера гранул 50 мм; АГ собирали в валик; вводили восстановитель в виде катионной эмульсии нефтяных масел, содержащих большое количество ароматических соединений; перемешивали компоненты и разравнивали смесь автогрейдером, после чего слой уплотняли. В зависимости от толщины пакета битумосвязных слоев разлом покрытия осуществляли на всю толщину (если она была менее 5 см) или послойно. В последнем случае валик размельченного материала отодвигали и те же операции производили с нижеле-

жащими слоями. Если нижние несвязные слои утратили несущую способность (вследствие переизмельчения щебня или заиливания), их укрепляли цементом, известью, шлаковым вяжущим и (или) битумной эмульсией или заменяли новыми. Материал верхних слоев в обратном порядке возвращали из валиков в корыто и после перемешивания с восстановителем разравнивали и уплотняли. Через определенное время, необходимое для формирования регенерированного слоя (с закрытием движения), сверху укладывали слой износа или усиления. В конце 70-х годов этот способ получил распространение в США.

Часто размельченный материал верхних битумосвязных слоев, предварительно обработанный восстановителем, смешивали с материалом нижних несвязных слоев с добавлением маловязкого битума или (и) цемента или шлаковых вяжущих. Перемешивание размельченных материалов с вяжущими и планирование смеси осуществляли преимущественно автогрейдером. Для укладки смеси использовали также погрузчик с асфальтоукладчиком. Этот способ нашел применение в США и Нидерландах.

Многие специалисты США и Канады уже в то время считали, что способ ХРМ является самым перспективным и только технологические трудности вынуждали регенерировать старый асфальтобетон на АБЗ, что неизбежно приводило к удорожанию ремонтных работ.

Появление холодных фрез дало толчок к развитию технологии ХР. Здесь прослеживается аналогия с технологией укрепления грунтов, включающей операции рыхления, введения вяжущего и добавок, перемешивания, планирования (или укладки) смеси, уплотнения. Разница заключается в том, что укрепление грунтов осуществляют при новом строительстве, а ХР – уже существующей дорожной одежды. Чтобы измельчить асфальтобетонное покрытие, потребовалось увеличить мощность холодных фрез и оснастить зубья фрезерного барабана наконечниками из карбидного сплава.

В начале 80-х годов фирма Barber-Green в США разработала роторный профилировщик, совмещающий операции рыхления покрытия, измельчения АГ и перемешивания его с вяжущим за один проход. Эта машина была способна регенерировать асфальто-

бетонные слои покрытия одновременно со слоем основания из необработанных материалов общей толщиной 28 см. Она была снабжена отвалом, распределяющим регенерированную смесь на всю ширину обрабатываемой полосы.

Во второй половине 80-х годов широкое применение в США получает тяжелая грунтовая фреза фирмы Bomag объединения AMCA International Corporation. Она выполняет те же операции, что и роторный профилировщик, но имеет меньшие размеры, что облегчает ее транспортировку. Глубина фрезерования до 25 см. Хотя фреза-смеситель является прицепным рабочим органом к тягачу, она удерживается на заданной глубине рыхления. На машине может быть установлен грохот для отделения и повторного измельчения гранул крупнее 50 мм. Эту машину используют как для стабилизации грунтов, так и для регенерации дорожных одежд по методу ХРМ. Чаще всего ХРМ осуществляют с захватом слоя несвязного основания. Органическое вяжущее в виде эмульсии вводят через шланг из идущей впереди автоцистерны под кожух фрезерного барабана в количестве 2-3% от массы укрепляемого материала. Для разравнивания смеси в ряде случаев используют автогрейдер. Для лучшего смешения иногда первый проход машины используют только для рыхления покрытия, не затрагивая основания.

В штатах Айова и Канзас (США) технологию ХР с использованием битумной эмульсии широко применяют для предотвращения или снижения отраженного растрескивания покрытия. На одной из местных дорог с интенсивностью движения 410 авт./сут (в том числе 15% грузовых автомобилей) и толщиной покрытия 14 см ХРМ выполнили комплектом машин («поезд» длиной 27,5 м) на глубину 10 см. Холодная фреза в процессе измельчения покрытия уложила АГ в валик шириной 3,8 м. Следующая за ней передвижная дробилка измельчала АГ до частиц максимальной крупности 3 см. Далее АГ смешали с медленно распадающейся катионной эмульсией (CSS-1) в количестве 2% в передвижной лопастной мешалке и уложили в валик. Автопогрузчик по транспортеру подавал смесь в бункер асфальтоукладчика. Уложенную смесь уплотнили сначала 25-тонным пневмокатком, а затем виброкатком. В среднем плотность АГБ достигала 95% от плотности лабораторных

образцов, уплотненных по методу Маршалла. Дорогу сразу открыли для движения транспортных средств, а затем уложили защитный слой из асфальтобетонной смеси толщиной 5 см.

В шт. Огайо Департаментом транспорта совместно с фирмой Resource International были проведены исследования эффективности способов ХРМ с применением битумных эмульсий. Отмечено, что для дорог с малой интенсивностью движения эти способы более подходящие, чем способы ХРУ В этой же публикации приведены примеры усиления двух участков. На одном участке покрытие регенерировали на всю толщину (15 см) с добавлением медленно распадающейся битумной эмульсии CSS-1H (7,5% от массы АГ) и укладкой слоя усиления из горячей асфальтобетонной смеси толщиной 10 см (здесь в старом асфальтобетоне оказалось очень низкое содержание битума).

На другом участке старого покрытия той же толщины регенерировали слой толщиной 10 см с добавлением восстановителя (в виде эмульсии) «Циклоген ME» (Cyclogen ME) в количестве 4,5% от массы АГ и уложили слой усиления толщиной 7,5 см. Покрытие фрезеровали фрезой марки CMI; АГ прогрохачивали на сите с размером отверстий 2,5 см и более крупные гранулы дробили (1-й прицеп); смешение с битумной эмульсией или восстановителем осуществили в смесителе, установленном на втором прицепе, причем автоцистерна с эмульсией двигалась впереди фрезы; готовую смесь выложили в виде валика, выдержали для испарения лишней влаги и распределили автогрейдером; уплотнение осуществили виброкатком. Движение транспортных средств открыли через 7-12 дней, после чего на регенерированный слой нанесли подгрунтовку и уложили слой усиления. Следует обратить внимание на один недостаток: длительный срок закрытия движения. По-видимому, это объяснялось ожиданием испарения влаги из слоя.

Основной проблемой в технологии ХРМ является перемешивание АГ с необработанными каменными материалами (новыми или старыми из несвязного слоя основания), вяжущим и восстановителем Чтобы улучшить качество перемешивания, в смесь следует добавлять небольшое количество воды, что облегчает обработку щебня битумом.

В разных штатах США способы ХР варьировались в зависимости от имеющегося в наличии оборудования. Если в штатах Айова, Канзас и Огайо АГ с добавками перемешивали в смесителе, установленном на прицепе, то в шт. Орегон, где способы ХР применяют с 1983 г., эту операцию осуществляли под кожухом фрезерного барабана в процессе фрезерования.

В шт. Калифорния при регенерации покрытия на глубину 9 см после фрезерования покрытия фрезой типа Barcomill 800 и додрабливания гранул крупнее 4 см в передвижной дробильно-сортировочной установке АГ смешивали с битумной эмульсией и циклогеном в Мидлендском смесителе-укладчике Midland Mix-Paver (грунтосмесительная машина фирмы Arizona). Эта машина производительностью 350 т/ч имеет приемный бункер, смеситель, емкость для эмульсии и укладывающе-уплотняющее устройство, аналогичное асфальтоукладчику.

В 90-е годы в США появилось новое поколение машин, которые могут быть использованы как для технологии ХРМ, так и для укрепления грунтов. Это дорожные стабилизеры на колесном ходу с глубиной рыхления до 50 см. Эти машины выполняют операции фрезерования покрытия и перемешивания АГ с вяжущим и добавками под кожухом фрезерного барабана. К машинам указанного типа можно также отнести стабилизеры: RS-650 фирмы CMI Corporation (SMI), RR-250; SS-250; RM-350 и SM-350 фирмы Caterpillar и др.

Рассматривая опыт США конца 80-х – начала 90-х годов, следует отметить большое разнообразие применяемого оборудования для реализации технологии ХРМ: для рыхления покрытия – от бульдозеров и грейдеров до фрез; молотковые дробилки в случае рыхления покрытия не фрезами; для смешения с добавками – роторные смесители и др.

В середине 70-х годов в США была создана Ассоциация по регенерации и восстановлению асфальтобетонных покрытий (Asphalt Recycling & Reclaiming Association – ARRA), участники которой на ежегодных семинарах обмениваются информацией о достижениях в этой области. В 1994 г. на очередном семинаре вице-президент инженерной фирмы Brown & Brown, Inc. из шт. Канзас

Д.Е. Хаффман отметил удручающее состояние с внедрением технологии ХР в США, несмотря на ее преимущества в экономическом и экологическом аспектах. Он указывает две причины: с одной стороны, федеральный дорожный департамент не высказался пока в пользу широкого применения этой технологии; с другой стороны, большинство региональных и государственных предприятий рассматривают технологию ХР как экспериментальную. По мнению Д.Е. Хаффмана, в этом виноваты недостатки разработанных стандартов по подбору состава смесей и методов контроля качества работ.

В 1993 г. в США был учрежден объединенный комитет № 38 по ХР под председательством Р. Лоуелла от фирмы Caterpillar Paving Products. На первом совещании этого комитета были созданы подкомитеты: оценки проектных решений; проектирования смесей и конструкций; строительства; контроля качества и испытаний; оценки результатов. Другой деятельностью созданного комитета являются соответствующие научные исследования, проводимые фирмой Koch Materials в направлениях: методов подбора состава смесей, оценки их качества и улучшения (испытания на ползучесть, колееобразование и усталость); поиска новых составов эмульсий (модификация битума полимером или химическая модификация, контроль скорости распада эмульсии); добавления нового скелетного материала к АГ; добавления извести или цемента (для повышения прочности АГБ в раннем возрасте и повышения сцепления необработанных зерен с битумом).

Эти сведения автор обзора приводит подробно для того, чтобы показать, какое внимание уделяется в США направлению, связанному с технологией ХР.

Во Франции технология ХР получила развитие после ознакомительной поездки французских специалистов в 1981 г. в США. Уже на следующий год был опробован способ ХРМ с применением битумной эмульсии на дороге с интенсивностью движения 10 тыс. авт./сут. Через два года наблюдений был сделан вывод, что работоспособность регенерированного слоя не хуже, чем слоя из обычного асфальтобетона.

Впервые в Европе способ ХРМ с использованием амери-

канского смесителя-укладчика (мидлендского) опробовала фирма SCREG Routes на автомобильной дороге с интенсивностью движения 11 тыс. авт./сут. С покрытия толщиной 10,5 см удалили фрезерованием верхний слой толщиной 5 см, и АГ с влажностью 1,5-1,6% складировали на площадке в 500 м от дороги. Для улучшения сцепления между слоями поверхность обнаженного слоя покрытия подгрунтовали гудроном из расчета 0,3 л/м^2. АГ подвозили к месту укладки и перемешивали в грунтосмесительной машине предварительного смачивания с эмульсией «Композил СКРЕГ 400» в количестве 2% и водой (до влажности 4%). После уплотнения остаточная пористость АГБ составила (15±5)%. Глубина проникания иглы в извлеченный битум повысилась с $17 \cdot 10^{-1}$ до $34 \cdot 10^{-1}$ мм, а температура хрупкости понизилась с плюс 1 до минус 3°С. Хотя движение транспортных средств было открыто сразу, считают, что тяжелые автомобили следует пускать не ранее, чем через двое суток. Регенерированный слой через 4 мес эксплуатации имел вид, аналогичный виду слоя из горячего асфальтобетона. Позднее был уложен защитный слой. Этому методу фирма дала название «Ресикол» (Recycold). Спустя 5 лет, несмотря на высокую интенсивность движения и значительную пористость регенерированного слоя, устройства нового защитного слоя не потребовалось. К концу 1987 г. способом «Ресикол» были выполнены работы на площади около 2 млн м^2.

С 1987 г. в комплект оборудования для ХРМ фирмы SCREG входили: одна или две фрезы традиционного типа; машина для сбора АГ с направляющими полуотвалами, оборудованная устройством для измельчения крупных гранул (с колосниковым грохотом и ротором с лопастями) и системой очистки покрытия от АГ; смеситель-укладчик (с шириной захвата 2 м при работе с одной фрезой и до 4 м при работе с двумя фрезами) с приспособлением для подгрунтовки обнаженного слоя перед укладкой АГБ-смеси. Скорость потока составляла 8 м/мин. С применением этого комплекта осенью 1987 г. фирма SCREG выполнила работы по регенерации верхнего и частично нижнего асфальтобетонных слоев на глубину 8 см на одной из национальных дорог с интенсивностью движения 4800 авт./сут (в том числе 10% грузовых автомобилей).

Старое покрытие растрескалось и выкрашивалось из-за плохого сцепления между слоями и сильного старения битума (глубина проникания иглы (11-16)·10^{-1} мм). Усиления дорожной одежды не требовалось. К АГ добавили 60%-ную эмульсию битума Kompodyl с глубиной проникания иглы 400Ч10^{-1} мм в количестве 1,75%. Через две недели после укладки плотность АГБ составляла 2,16 г/см^3 (что свидетельствует о достаточно высокой пористости).

Для усиления, уширения и выравнивания загородных дорог, а также городских дорог с препятствиями упомянутая фирма разработала комплект мобильного оборудования Compomobile, работающего по способу ХРУ, т.е. с транспортировкой АГ к месту переработки.

Французская фирма Colas разработала оборудование и технологию Chausйe Rйnovйe для усиления или ремонта дорожной одежды по способу ХРМ с использованием битумной эмульсии. Фреза Novacol, смонтированная на шасси Caterpillar мощностью 750 л.с., фрезерует покрытие на глубину до 25 см с шириной захвата 3,8 м, толкая перед собой цистерну с эмульсией, перемешивает АГ с эмульсией и укладывает АГБ-смесь в виде валика. Эмульсию подают непосредственно под кожух фрезерного барабана. Планировку слоя осуществляют автогрейдером или специальным асфальтоукладчиком. Этот способ получил название «Новакол», а его модификацией является подача АГБ-смеси с помощью специальной машины непосредственно в асфальтоукладчик.

С 1989 по 1994 гг. фирмами SCREG и Colas на национальной дороге RN 20 категории Т-1 (интенсивность движения более 500 тяжелых авт./сут) способом «Новакол» было регенерировано 211 тыс. м^2 асфальтобетонного покрытия. Покрытие фрезеровали на всю толщину. Содержание старого битума в АГ с глубиной проникания иглы 20·10^{-1} мм и температурой размягчения 65°С составляло 5%. Здесь АГБ полностью состоял из АГ. Улучшения гранулометрического состава не потребовалось. Эмульсию добавляли в количестве 1,7-3,4%. Основание подгрунтовывали с помощью специального устройства, помещенного на фрезе-смесителе. Уплотнение осуществили вибро- и пневмокатками. Плотность АГБ колебалась в пределах 84-92% (от плотности

лабораторных образцов). Толщина слоя оказалась на 8-16% больше толщины старого покрытия. Поверх регенерированного слоя на разных участках были уложены слои износа из асфальтобетонной смеси или осуществлена поверхностная обработка. Несмотря на то, что основание было представлено гравийно-песчаной смесью, укрепленной шлаком, через 6 лет эксплуатации отраженные трещины на покрытии отсутствовали. На участках, где АГБ был недоуплотнен, появилась колейность, связанная с его доуплотнением. Сделан вывод об удивительной эффективности этого способа для борьбы с отраженным трещинообразованием.

В 1992 г. на соединении автомагистрали А 71 с дорогой RD 94 фирмой Colas по способу «Новакол» был регенерирован слой толщиной 12 см, включающий слой толщиной 6-7 см из асфальтобетонной смеси, с захватом слоя основания толщиной 5 см из укрепленного цементом материала. Все технологические операции выполнялись за один проход. При двух проходах по ширине проезжей части производительность составила 5-6 тыс. $м^2$ в день. Более чем 10-летнее наблюдение за состоянием участков, отремонтированных этим способом, подтвердило его эффективность.

С 1987 г. способ «Новакол» получил распространение в Италии (фирма Pavas), Нидерландах и ФРГ (фирма Deucol).

Дальнейшее совершенствование технологии ХР во Франции связано с разработками фирмы Beugnet, которой в 1986 г. была подана заявка на способ «Факир» (FAQUIR), предусматривающий регенерацию покрытия или дорожной одежды с применением цемента с помощью двух машин, а в 1987 г. – заявка на способ ХРМ с применением в качестве вяжущего маловязких битумов, содержащих около 10% добавки смачивателя и пластификатора на основе ароматических соединений. Кроме того, предлагалось вводить в смесь около 0,25% синтетических волокон. Выполнение всех технологических операций предусмотрено одной машиной.

Уже в 1986 г. был создан комплект из двух машин: ARC Dosage – машины для хранения, дозировки и распределения цемента или других сыпучих материалов по покрытию и ARC 600 – машины для фрезерования покрытия, перемешивания АГ с цементом и водой

и распределения АГБ-смеси на дороге. Машина ARC 600 могла фрезеровать покрытие на глубину до 33 см шириной 2 м. Зубья на фрезерном барабане расположены таким образом, что АГ перемещался к оси дороги. Крупные гранулы задерживались решеткой и повторно измельчались фрезой, а остальные гранулы попадали в смеситель, установленный на машине. АГБ-смесь распределялась шнеком и разравнивалась брусом как на асфальтоукладчике. Дозаторная машина массой 65 т на полуприцепе осуществляла дозировку цемента, воды или битумной эмульсии в зависимости от скорости движения. Комплект мог двигаться со скоростью до 5 м/мин. За катками двигался автогрейдер, срезая неровности. Способ «Факир» предназначался для усиления дорожной одежды.

В 1987 г. фирмой Beugnet были осуществлены ремонтные работы на национальной дороге № 124 (Юго-Восточный округ Жера) на трех участках с интенсивностью движения грузовых автомобилей соответственно 750, 150 и 150 авт./сут. На первом участке вместо традиционного варианта усиления – слоя из битумоминеральной смеси толщиной 12 см и слоя из асфальтобетонной смеси толщиной 6 см – старое покрытие регенерировали способом ХРМ с добавлением цемента на глубину 31 см с последующей укладкой дренирующего слоя из асфальтобетонной смеси на полимерно-битумном вяжущем «Дреношап» (Drainochape) толщиной 4 см. На втором участке вместо слоев усиления 10+6 см старую дорожную одежду регенерировали на глубину 26 см. На обоих участках толщина старого покрытия не превышала 12 см. Способ предусматривал захват слоя основания из гравийно-песчаной смеси. Работы осуществляли с применением комплекта машин ARC. В смесь добавляли цемент в количестве 5% и органические волокна для повышения трещиностойкости слоя. В данном эксперименте была показана возможность расширения проезжей части за счет обочин. Этим способом во Франции в течение двух лет было отремонтировано 500 тыс. м^2 дорог.

В том же 1987 г. появилась усовершенствованная модель регенерационной машины ARC-700, изготовленная в мастерских SERMI (Общество исследований и реализации нового оборудования

фирмы Beugnet). Машина снабжена тремя гусеницами, мотором мощностью 750 л.с. (551 кВт), брусом для дробления покрытия (во избежание отделения его плитами), фрезерным барабаном с 280-ю зубьями с наконечниками из карбида вольфрама, плавающим ножом для выравнивания слоя, смесителем продольного типа с 28-ю лопастями, шнеком для распределения смеси и выравнивающим брусом. В результате испытаний были отмечены следующие преимущества: не нарушался нижележащий несвязный слой; хорошее сцепление регенерированного слоя с нижележащим несвязным; высокая точность выдерживания заданной толщины регенерированного слоя; высокая точность дозирования цемента и воды; высокая однородность смеси; высокая производительность (2-3 тыс. м^2 / день). Машина позволяла исправить продольный и поперечный профили дороги, корректировать гранулометрический состав смеси, повысить толщину старой дорожной одежды (если это было необходимо по расчету).

С применением этой машины был отремонтирован участок дороги с интенсивностью движения 3800 авт./сут, требующий усиления слоем из битумоминеральной смеси толщиной 12 см и слоем из асфальтобетонной смеси толщиной 6 см. Вначале автогрейдером по старому покрытию распределили слой минеральной смеси крупностью 0/25 мм толщиной 12 см с целью оптимизации гранулометрического состава старой битумоминеральной смеси и прикатали его. Поверх этого слоя дозаторной машиной распределили цемент в количестве 5%. Остальные операции выполнила машина ARC-700. Воду в смеситель подавали шлангом от дозаторной машины. Регенерационный комплект двигался со скоростью 6 м/мин. Глубина фрезерования составила 18 см (7-9 см покрытия и 10 см основания), а общая толщина регенерированного слоя – 30 см (согласно представлениям автора обзора, здесь речь идет не об АГБ, а об укрепленном крупнообломочном грунте, так как доля АГ в смеси составляет около 30%). Уплотнение осуществили 16-ю проходами виброкатка, а после окончательного выравнивания поверхности автогрейдером четырьмя проходами виброкатка и четырьмя проходами пневмокатка. Влажность смеси колебалась в пределах 2,1-5,9%, а плотность

(в сухом состоянии) – 2,06-2,24 г/см, причем в нижней части слоя она была на 10% ниже. В конце дня регенерированный слой дважды обработали 65%-ной битумной эмульсией из расчета 3,5 л/м. Через некоторое время был уложен слой износа из асфальтобетонной смеси толщиной 6 см. По прошествии года после проведения работ величина прогибов оказалась в 8-20 раз ниже, чем до ремонта. Проектный срок службы был оценен в 20 лет (к сожалению, отсутствуют сведения о трещиностойкости регенерированного слоя).

Следует отметить комплект машин Demeter, разработанный филиалом Innolef фирмы Jean Lefebvre. Комплект включает, наряду с ведущей машиной, распределитель цемента вместимостью 8 т. Ведущая машина позволяет регенерировать дорожную одежду с добавлением цемента на глубину до 35 см. Фирма Jean Lefebvre регенерировала только за период 1986-1987 гг. 400 тыс. м^2 дорожных одежд.

Первый опыт со всей очевидностью показал экономические преимущества технологии ХРМ с добавкой цемента для ремонта дорог с невысокой интенсивностью движения. Поэтому он был распространен на дороги более высоких категорий. Способом «Факир» в 1990 г. было регенерировано уже 300 тыс. м^2 дорожных одежд. В 1987 г. отделением ATRECOR фирмы Beugnet для технологии ХРМ с добавлением органического вяжущего была разработана новая машина с аналогичным названием ATRECOR-1. Машина мощностью 500 кВт была оборудована двумя фрезерными барабанами, один из которых мог изменять рабочую ширину полосы обработки в пределах 2,5-3,3 м, и позволяла в едином цикле фрезеровать покрытие на глубину до 10 см, очищать поверхность нижележащего слоя от продуктов измельчения посредством всасывающего устройства, дозировать вяжущее, перемешивать его с АГ, подгрунтовывать отфрезерованную поверхность, распределять, выглаживать и предварительно уплотнять АГБ-смесь. Этому способу фирма Beugnet дала название «Режешап» (Regechape) Способ был опробован на третьем участке дороги № 124. Глубина регенерации составила 8 см (часть слоя старого покрытия толщиной 4-10 см не затронули). АГ смешивали с вяжущим «Режешап», разработанным фирмой Beugnet и представляющим собой смесь

специальных маловязких битумов. Новшеством было введение вяжущего под фрезерный барабан одновременно с охлаждающей жидкостью. Один из регенерированных в 1989 г. этим способом участков был даже оставлен без защитного слоя.

В 1990 г. фирма Beugnet со своим отделением ATRECOR пришла к выводу о целесообразности разделения функций, выполняемых машиной ATRECOR-1, и создала машину ATRECOR-3 для работы по способу «Режешап». В отличие от первой машины, операции фрезерования и очистки поверхности нижележащего слоя должны были выполняться традиционными машинами. Мощность новой машины была доведена до 662 кВт, что позволило регенерировать покрытие на глубину до 15 см.

К концу 1988 г. во Франции способами ХРМ с применением битумной эмульсии было регенерировано 2,5 млн. м^2 покрытия (в США, для сравнения, объем аналогичных работ составил 6 млн. м^2), а с применением машины ARC-700 к 1994 г. – 4 млн. м^2.

В 1986 г. фирма Colas предложила для повышения прочности регенерированного слоя применять комбинированное вяжущее: битумную эмульсию в сочетании с цементом. Способ получил название «Флексосим» (Flexocim). Он был опробован специалистами фирмы Beugnet в 1993 г. на национальной дороге RD 60 (у г. Санса), требовавшей усиления. Малый радиус кривизны при невысоком прогибе, а также наличие колейности указывали на недостаточную прочность основания из битумоминеральной смеси, хотя двухслойное асфальтобетонное покрытие толщиной 15 см имело хорошее качество. Отбор кернов подтвердил, что битумоминеральное основание расслоилось.

После удаления слоя было осуществлено фрезерование нижележащих битумосвязных слоев на глубину 20 см холодной фрезой Bitelli, движущейся со скоростью 4 м/мин (для получения оптимального гранулометрического состава), с добавлением воды в количестве 2-3% (4 см битумосвязного слоя основания осталось нетронутым). Слой АГ прикатали двумя проходами пневмокатка для возможности прохода основных регенерационных машин. Дозаторной машиной распределили цемент перед фрезой-смесителем ARC-700, которая углубилась еще на 5 см и перемешала

АГ с цементом, эмульсией и дополнительной водой. Для более гомогенного смешения ее скорость составляла 3,5 м/мин. Необходимый запас воды находился в цистерне емкостью 10 м^3, движущейся за фрезой-смесителем. Максимальное содержание воды в АГБ-смеси не превышало 6,5%, что позволило сразу после уплотнения слоя открыть движение транспортных средств.

Любопытно, что работы осуществляли во второй половине ноября при температуре 0-7°С. Однако температура смеси составляла 12-15°С за счет преобразования энергии фрезерования в тепло. При ширине полосы обработки 2 м движение на ремонтируемой половине проезжей части не прекращали. Уплотнение слоя осуществили виброкатком (12 проходов по одному следу), а затем пневмокатком массой 35 т (5 т на колесо, 30 проходов). Окончательное выравнивание слоя выполнили автогрейдером, а доуплотнение – движущимися транспортными средствами. В конце дня устраивали защитный слой в виде поверхностной обработки из эмульсии (1,4 л/м^2) и щебня фракции 3/8 мм (10 кг/м^2).

Дальнейшая апробация способа «Флексосим» на национальной дороге RN 175 в 1994-1996 гг. привела к концепции создания «ограниченной жесткости» дорожной одежды, достигаемой при регенерации покрытия на глубину 10-12 см.

Идя по пути разделения основных функций, выполняемых многофункциональными машинами типов ARC-700 и ATRECOR, фирма Beugnet в 1997 г. создает новую машину – смеситель-укладчик EMF 200 производительностью 200 т/ч, перемешивающий смесь АГ и цемента с водой и эмульсией и укладывающий ее при помощи телескопического устройства (как в асфальтоукладчике).

Теперь технология ХРМ выглядит следующим образом. Дозаторная машина распределяет по старому покрытию цемент, холодная фреза фрезерует покрытие на глубину до 15 см и по транспортеру подает смесь АГ с цементом в автомобили-самосвалы, которые перегружают ее в приемный бункер смесителя-укладчика для последующих операций. Коэффициент вариации прочности образцов АГБ при использовании смесителя-укладчика EMF 200 не превышает 13% (против 10% на заводе), а применение

дозаторной машины цемента обеспечивает коэффициенты вариации содержания цемента в АГБ в поперечном и продольном направлениях (соответственно 3 и 5% против 5% на заводе). Таким образом устранено основное различие в качестве смесей, получаемых методами ХРМ и ХРУ.

Обобщая опыт Франции по развитию технологии ХРМ, можно сгруппировать разные способы с учетом типа применяемого вяжущего следующим образом: «Новакол», «Режешап» и «Ресикол» – с добавлением эмульсии; «Факир» – с добавлением цемента; «Флексосим» – с добавлением комплексного вяжущего. Эти способы включают основные операции ХР: фрезерование покрытия, перемешивание АГ с вяжущим и укладку смеси, отличаясь используемым оборудованием и количеством основных машин в комплекте.

Способ «Новакол» предусматривает наличие трех основных машин: специальной машины, выполняющей все технологические операции, кроме укладки смеси; специальной машины для подъема смеси из валика, оставленного первой машиной, и подачи ее в третью машину – асфальтоукладчик.

Способ «Режешап» предусматривает наличие двух основных машин: обычной фрезы и специальной машины, выполняющей остальные операции.

В отличие от предыдущего способа, способ «Ресикол» предусматривает использование третьей машины для подъема смеси из валика, оставленного фрезой, которая оснащена устройством для всасывания остатков АГ и пыли и устройством для измельчения крупных кусков.

Способы «Факир» и «Флексосим 1» предусматривают наличие двух основных машин: дозатора, наносящего цемент на старое покрытие, и специальной машины, выполняющей все основные операции. Способ «Флексосим 2» предусматривает наличие трех основных машин: дозатора цемента, обычной фрезы, фрезерующее старое покрытие с нанесенным слоем цемента и отгружающей смесь в автомобили-самосвалы, и специального смесителя-укладчика, где смесь АГ и цемента перемешивается с водой и эмульсией.

В ФРГ технологию ХРМ начали применить с 1986 г. с появлением стабилизера 2000 VC-R, созданного на базе холодной фрезы 2000 VC фирмы Wirtgen GmbH. Эта крупнейшая компания известна в нашей стране своим оборудованием для горячей регенерации и холодного фрезерования асфальтобетонных покрытий.

Технологию ХРМ фирма Wirtgen осваивала в тесном контакте с австрийской фирмой Schmitt Achalttechnik GmbH (SAT). Стабилизер 2000 VC-R с мощностью мотора 198 кВт оснащен емкостью для воды, устройством для дозирования воды или эмульсии и устройством для распределения смеси. Машину можно было использовать для укрепления грунта цементом, известью, битумной эмульсией, разжиженным или жидким битумом. Глубина фрезерования достигала 30 см. Рекомендуемая рабочая скорость 5 м/мин. Стабилизер мог работать в четырех режимах: с подачей АГ в автомобили-самосвалы; с укладкой АГ в валик сбоку от обрабатываемой полосы; с укладкой АГ в призму между гусеницами; с распределением АГБ-смеси на ширину обрабатываемой полосы и предварительным уплотнением. При работе с применением эмульсии (как правило, катионной) ее в количестве 4-6% подают под кожух перед вращающимся фрезерным барабаном. Глубина фрезерования асфальтобетона в этом случае достигает 10 см.

Способ ХРМ с использованием цемента, заимствованный ФРГ у Франции, применяли преимущественно для ремонта дорог с тонким слоем покрытия с захватом несвязного материала основания. Цемент в количестве 4-12% от массы обрабатываемого материала распределяли по покрытию специальным цементораспределителем. С использованием специального фрезерного барабана глубину фрезерования можно было доводить до 30 см.

В 80-е годы в ФРГ способы ХРМ, по сравнению со способами ХРУ, применялись в незначительном объеме. В начале 90-х годов появляется новое поколение машин для ХР. Для дорог с небольшой интенсивностью движения предлагается стабилизер 1000 CR с

шириной обрабатываемой полосы 1 м, глубиной фрезерования до 10 см и производительностью около 1200 м^2 в день. Его можно использовать для устранения отраженных трещин на сельских дорогах перед нанесением слоя поверхностной обработки. Уплотнение осуществляют виброкатком массой 7-9 т.

Для дорог остальных типов предлагается стабилизер 2100 DCR с шириной полосы обработки от 2 до 2,5 м (в специальном варианте). Эта машина оснащена специальной балкой, установленной перед кожухом фрезерного барабана для дробления в процессе фрезерования отламывающихся асфальтобетонных плит, слабо связанных с нижележащим слоем, а также устройством для распределения и предварительного уплотнения смеси (как у асфальтоукладчика). При ХР с использованием комплексного вяжущего (эмульсия + цемент) цемент распределяют по старому покрытию. Если необходимо добавление скелетного минерального материала (щебня), его также распределяют слоем по старому покрытию (перед нанесением цемента) до фрезерования.

В 1993 г. фирма Wirtgen на базе известной в нашей стране машины для горячей регенерации асфальтобетонных покрытий – ремиксера – создала смеситель-укладчик CR 4500, позволяющий обрабатывать полосу шириной от 3 до 4,5 м. Смеситель-укладчик CR 4500 оборудован емкостями для воды, эмульсии и цемента, приемным бункером для нового минерального материала, фрезерным барабаном, смесителем цемента с водой для получения теста, двухвальным смесителем АГ с вяжущим и (если необходимо) с несвязным материалом и распределительно-уплотняющим рабочим органом. Сначала обычная дорожная фреза фрезерует покрытие на заданную глубину. АГ разравнивают грейдером и прикатывают для возможности пропуска построечного транспорта. Смеситель-укладчик взрыхляет АГ, перемешивает его с остальными компонентами, распределяет смесь на ширину регенерируемой полосы и предварительно уплотняет слой. Запасы рабочих материалов непрерывно пополняются из емкостей специального автомобиля, сцепленного с основной машиной. При таком способе

исключается необходимость распределения цемента по покрытию перед фрезерованием.* Преимуществом также является высокая степень однородности смеси, не уступающая однородности, достигаемой на стационарных смесительных установках.

Учитывая американский опыт создания и использования стабилизеров, фирма Wirtgen выпустила в 1994 г. аналогичную машину на колесном ходу WR 2500, которая может осуществлять укрепление грунтов известью и цементом, измельчение старой дорожной одежды с увлажнением смеси для получения слабосвязного слоя основания – (способ «гранулирования»), а также регенерировать дорожную одежду с добавлением эмульсии, вспененного битума, цемента и комплексного вяжущего. Ширина обработки 2,5 м. В зависимости от глубины фрезерования геометрия рабочей камеры может изменяться, что позволяет достичь требуемой производительности без перегрузки машины. Как и стабилизер 2100 DCR, WR 2500 имеет приспособление для измельчения крупных кусков асфальтобетона. После прохода стабилизера автогрейдер профилирует смесь.

В том же году была разработана вспомогательная установка WM 400 для приготовления цементного теста (суспензатор), перемещаемая стабилизером. Она позволила исключить операцию распределения цемента по поверхности регенерируемого покрытия. Последняя модификация суспензатора – WM 1000. Несколько лет назад появилась новая модификация стабилизера – WR 2500 K. Он отличается встроенным приспособлением, позволяющим распределять минеральное вяжущее непосредственно перед фрезерным барабаном.

В настоящее время стабилизер WR 2500 вытеснил с рынка машину гусеничного типа 2100 DCR из-за громоздкости и высокой стоимости последней.

---

* Это техническое решение было осуществлено после проведения опытных работ в Москве и Московской области по инициативе автора обзора (Примеч. автора).

Фирма Wirtgen, наряду с машинами для реализации способа ХРМ, разработала мобильную установку КМА 150 для приготовления холодных смесей. Ее можно располагать внепосредственной близости от места добычи материалов или укладки смесей. Собственный электрогенератор делает эту установку независимой от местной электросети. С использованием данной установки реализуется способ ХРУ.

Из других стран, освоивших технологию ХРМ с применением эмульсии или цемента, следует отметить Англию, использовавшую грунтовые фрезы МРН 100 и МРН 60 фирмы Bomag. В 1984 г. в Англии было регенерировано 4000 м^2 покрытия, а в 1988 г. – уже 250 тыс. м^2 на 30-ти объектах. Чаще применяли способ ХРМ с захватом слоя несвязного основания.

В Австралии фирмой Road Recyclers разработана машина массой 35 т, которая выполняет все операции по способу ХРМ с использованием эмульсии. По сравнению с аналогичной машиной США она имеет на 25% меньшие размеры.

С 1996 г. стабилизер WR 2500 используется в разных странах.

В Бельгии на одной из дорог пакет слоев старого асфальтобетонного покрытия измельчили с превращением его в слои основания без добавления вяжущего (способ гранулирования). Был также укреплен слой старого основания с применением $CaCl_2$.

В ФРГ при восстановлении дороги Браунсдорф – Хюрстенвальде требовалось уширить ее с 4 до 5,5 м. Для этого с применением фрезы 1300 ДС выфрезеровали рядом со старой дорогой полосу шириной 3 м и глубиной 30 см и засыпали туда смесь минеральных материалов. Затем фрезой WR 2500 при рабочей скорости 30-35 м/мин материал старой дорожной одежды перемешали, спрофилировали автогрейдером и прикатали, после чего смесь укрепили цементом (6%) и водой (3%) при помощи комплекта машин из стабилизера WR 2500 и суспензатора WM 400. На подготовленное таким образом основание уложили асфальтобетонный слой толщиной 10 см.

В Австралии стабилизер WR 2500 использовала фирма Stabilised Pavements of Australia (SPA), являющаяся крупнейшим владельцем дорожных машин на континенте.

Возможности технологии ХРМ с применением стабилизера были наглядно продемонстрированы при реконструкции скоростной автомагистрали Fernao Dias в Бразилии. На одном из участков по всей ширине дороги, включая обочины, был нанесен слой минеральной смеси толщиной 5 см. Проходом стабилизера дорожная одежда, включающая слой старого асфальтобетонного покрытия толщиной 17 см, была гомогенизирована с захватом 5 см слоя основания. Для улучшения уплотняемости в смесь добавляли воду. Полученный слой толщиной 27 см спрофилировали автогрейдером и уплотнили тяжелыми катками. Здесь, как и в примере с Бельгией, был реализован способ гранулирования.

На другом участке толщина старого асфальтобетонного покрытия достигала 45 см. В этом случае была применена другая стратегия. Часть покрытия решили удалить фрезерованием для использования АГ на других местах строительства, а из оставшейся части устроить основание. Для этого на проезжую часть нанесли песок и цемент в количестве 2% каждый и при помощи стабилизера измельчили старое асфальтобетонное покрытие на глубину 19 см, перемешав АГ с нанесенным материалом. Полученную смесь перевозили на соседние участки для укладки. Оставшийся пакет асфальтобетонных слоев с нанесенным на него минеральным материалом общей толщиной 20 см регенерировали. При этом производительность достигала примерно 230 $м^3$/ч.

В Испании при ремонте кольцевой дороги С-612 между г.г. Мединой де Риосеко и Виллафрегос регенерацию осуществили на глубину 15 см с использованием комплексного вяжущего, включающего цемент, битумную эмульсию и воду, соответственно в количествах 2, 3 и 1%. Старая дорожная одежда состояла из слоя асфальтобетонного покрытия толщиной 4-6 см и слоя оснований из несвязного материала толщиной 20 см. Цемент предварительно распределили по поверхности дороги. Смесь уплотнили виброкатком массой 16 т и пневмокатком массой 32 т. Необходимо отметить то, что дорога сразу была открыта для движения, а защитный слой асфальтобетона толщиной 5 см был уложен только на 21-й день.

В Норвегии крупнейшая дорожно-строительная фирма Nodest

Vei с середины 1996 г. по 1997 г. произвела работы с использованием стабилизера на 400 тыс. м^2; 25% от этого объема было выполнено с применением вспененного битума. Благодаря выполнению работ по регенерации сразу на всю ширину проезжей части были скорректированы продольный и поперечный профили, удалось избежать продольных стыков между полосами.

В Эстонии частная фирма TEEDE REV-2 осуществила реконструкцию дороги Пярну – Ликула с покрытием из слоя асфальтобетона толщиной 4-8 см и слоя щебеночно-гравийного основания толщиной 20 см. Сначала стабилизером дорожную одежду профрезеровали на глубину 18 см с укладкой измельченного материала в виде валика между колесами машины. Смесь распределили автогрейдером на ширину проезжей части и прикатали катками массой 10 и 12 т. Затем нанесли слой щебня фракции 20/40 мм для улучшения каркасности смеси, после чего тем же стабилизером осуществили регенерацию слоя толщиной 15 см с добавлением жидкого сланцевого битума (6,2 л/м^2) при скорости 10-12 м/мин. Слой после его разравнивания автогрейдером уплотнили комбинированным катком массой 12 т. Через 2-3 дня осуществили поверхностную обработку с применением битумной эмульсии (1,1 л/м^2) и щебня фракции 8/12 мм.

В Голландии, имеющей большой опыт ХР, при реконструкции одной из дорог применили следующую технологию. Стабилизером дорожную одежду профрезеровали на глубину 25 см, а измельченный материал экскаватором переместили на обочину. На обнаженное земляное полотно уложили геотекстиль и сверху насыпали слой песка толщиной 10 см. Поверх песчаного слоя распределили удаленный материал старой дорожной одежды, разровняли его автогрейдером и укрепили добавками цемента (3%) и битумной эмульсии (3%). Регенерацию слоя осуществили комплектом машин, состоящим из стабилизера и суспензатора. По регенерированному слою выполнили поверхностную обработку с применением битума и щебня фракции 4/8 мм, а затем уложили слой асфальтобетонной смеси. По сравнению с использованием стационарных установок для этой цели затраты были сокращены на 45%.

Приведенные примеры показывают возможность реализации самых разнообразных схем ХРМ с применением стабилизеров. Это предоставляет широкие возможности проектировщику для выбора наиболее экономичного способа производства работ применительно к конкретным условиям.

Выше отмечалось, что развитие технологии ХР идет также по пути поиска различных вяжущих и добавок.

В США в качестве вяжущего наиболее часто используют медленно- или среднераспадающиеся битумные эмульсии типа CMS, медленногустеющие разжиженные битумы типа МС-800 или цемент. Кроме того, используют жидкие битумы и маловязкие битумы с глубиной проникания иглы $(200\text{-}300)\cdot10^{-1}$ мм.

В 60-70-х годах компании Chevron Asphalt и Chevron Research потратили значительные суммы на исследования в области эмульсионно-минеральных смесей (ЭМС) для устройства покрытий, что стимулировало развитие технологии ХР. Обширные исследования завершились разработкой нового метода подбора таких смесей, который вошел в Руководство по ЭМС 1977 г. Накопленный опыт был подытожен в конце 80-х годов в соответствующих материалах Асфальтового института. В них идет речь об ЭМС, которые подразделяют на открытые (высокопористые), плотные и песчаные. Кроме того, смеси делят на изготавливаемые на заводе и на дороге. Эмульсии можно применять как катионные (согласно ASTM D 2397), так и анионные (согласно ASTM D 977). Для открытых смесей рекомендуют применять эмульсии со средней скоростью распада: катионные – SMS-2, SMS-2h; анионные – MS-2, HFMS-2, MS-2h, HFMS-2h. Для плотных смесей – медленнораспадающиеся эмульсии: катионные – CSS-1, CSS-1h; анионные – SS-1, SS-1h и эмульсию со средней скоростью распада HFMS-2S. Наряду с битумными эмульсиями можно применять и маловязкий горячий битум (в количестве 4-6% от массы укрепляемого материала).

Анализируя результаты применения технологии ХРМ в США, автор публикации обращает внимание на то, что использование в эмульсиях для АГБ-смесей маловязкого битума типов HFE-150 или HFF-300, хотя и обеспечивает технологические преимущества, но

иногда приводит к колееобразованию. Применение цемента или извести в количестве 1-3% в сочетании с битумной эмульсией дает положительные результаты при укреплении АГ. Повышается прочность АГБ на ранней стадии формирования регенерированного слоя, что очень важно для его сопротивления циклическим нагрузкам в первое время после открытия движения.

Во Франции, наряду с уже упоминавшимися эмульсиями «Комподил СКРЭГ» и «Режешап», включающими маловязкий битум, фирма Deucol Emulsiontechnik GmbH производит эмульсию «Режестаб» (Regestab E или EH) на основе специального битума и ароматических масел для восстановления свойств старого битума в АГ.

Предложенное фирмой Colas в 1986 г. комбинированное вяжущее получило название «Стабиколь» (Stabicol). Оно представляет собой смесь гидравлического вяжущего с битумной эмульсией, приготовленной в специальной установке. Различают три класса такого вяжущего: 50, 90 и 120, содержащих соответственно битума: 21,7, 33,4 и 40,0%; цемента: 43,5, 37,0 и 33,3%; остальное – вода (до 100%). Расход вяжущего, например, при обработке гравийно-песчаных смесей – 6%. Выбор вяжущего зависит от поставленной задачи: восстановить свойства постаревшего битума или обогатить битумом регенерируемый слой, включающий АГ и гравийно-песчаную смесь, обработанную цементом, или повысить прочность необработанного материала основания без потери эластичности. И эмульсию «Режестаб» и вяжущее «Стабиколь» фирма Colas применяет в способе La Chaussée Renovée, о котором говорилось выше.

Вспененные битумы для ХР впервые были применены в США. Их использование пока менее распространено, чем эмульсий. Для получения вспененного битума в нагретый до 170-180°С вязкий битум вводят определенное количество холодной воды. Это приводит к многократному увеличению (в 20 раз) первоначального объема битума. В процессе перемешивания вспененного битума с АГ и (или) несвязным материалом добавляют воду до оптимального ее содержания, обеспечивающего максимальную степень уплотняемости смеси.

Более широкому использованию вспененных битумов для ХРМ способствовало появление стабилизеров, оснащенных специальным устройством для вспенивания битума. При регенерации на одной из дорог в ФРГ дорожную одежду профрезеровали стабилизером WR 2500 фирмы Wirtgen с добавлением воды до оптимальной влажности. После разравнивания измельченного материала во время второго прохода стабилизера в смесь АГ с несвязным материалом ввели нагретый до 170°С битум и одновременно воду (2% от массы битума) под давлением 0,5 МПа. Усиление пенообразования достигалось подачей воздуха. Уплотнение слоя осуществили тяжелым виброкатком массой 17 т. В Норвегии этим способом за полгода было регенерировано 800 тыс. м^2 дорожных одежд. С учетом климатических условий использовали маловязкие сорта битума, преимущественно В 370. В среднем добавляли 3,5% битума. В Южной Африке при регенерации щебеночных покрытий добавляли 4-4,5% вспененного битума и 2,5-5% воды для достижения максимальной уплотняемости смеси.

Важным достоинством способа ХРМ с применением вспененного битума является возможность немедленного открытия дороги для движения транспортных средств.

К экзотическим видам вяжущего, опробованного при ХР, следует отнести раствор $CaCl_2$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ позволяет констатировать, что технология ХР дорожных одежд нежесткого типа развивается ускоренным темпом, завоевывая все новые области применения. Европейские страны начали активно осваивать эту технологию при ремонте и реконструкции дорог высших технических категорий. Наиболее продвинулись в этом направлении Франция и ФРГ.

Можно выделить два основных направления развития технологии ХР:

- совершенствование средств механизации;
- расширение видов вяжущего.

Из двух принципиально отличающихся способов ХР способ

ХРМ стал доминирующим благодаря созданию высокопроизводительных машин, позволяющих достигнуть однородности смеси, близкой к получаемой в стационарных смесителях.

В качестве вяжущего все большее распространение получает катионная эмульсия в сочетании с цементом или цементным тестом.

При разработке проектов предпочтение отдается технологии, при которой ХР осуществляют с захватом несвязного слоя основания. В этом случае добавка цемента считается наиболее эффективной.

В зависимости от вида вяжущего можно получить в итоге широкую гамму бетонов, располагающуюся между пористым асфальтобетоном из горячих смесей и укрепленным крупнообломочным грунтом.

Научно обоснованный выбор вяжущего, определение соотношения его компонентов, оптимизация его содержания в смеси и расчет толщины регенерированного слоя возможны на основе теории выносливости материала. Зная расчетные параметры материала: одноцикловую прочность, динамический, модуль упругости и показатель усталостной чувствительности к уровню нагружения, можно рассчитать толщину регенерированного слоя, обеспечивающую нормативный срок службы дорожной одежды после ее ремонта по критерию сопротивления пакета монолитных слоев усталости (выносливость). Предложенный автором сопоставительный подход позволяет выполнить эту процедуру, даже если регенерированный слой лежит на растрескавшихся слоях старой дорожной одежды.

Расчетные параметры АГБ требуют уточнения в зависимости от вида и содержания вяжущего. Наиболее перспективным методом оценки качества АГБ и одноцикловой прочности является испытание цилиндрических образцов на раскол по образующей.

Подход к проектированию состава с учетом понятия межгранулярной пустотности открывает возможность оптимизации структуры АГБ. Критериями должны служить расчетные параметры: $R_ц$, E и n. Добиваясь увеличения значений $R_ц$ и n за счет применения более эффективных вяжущих или их сочетания, можно повысить выносливость АГБ. Но наряду с выносливостью

необходимо обеспечить температурную трещиностойкость и устойчивость к колееобразованию АГБ-слоя. Как и в случае классического асфальтобетона, часто эти свойства являются антагонистами. Задача исследователя – найти компромиссное решение. Смеси на основе органического вяжущего обеспечивают более высокую температурную трещиностойкость, а смеси с цементом – более высокие выносливость и устойчивость к колееобразованию.

Не следует забывать, что необходимой выносливости АГБ-слоя можно добиться и путем увеличения его толщины, что, в отличие от асфальтобетона, не требует больших затрат.

Опыт ХР при реконструкции автомагистрали «Беларусь» показал необходимость обращения более пристального внимания на морозостойкость и температурную трещиностойкость АГБ-слоя в случае применения комплексного вяжущего.

Представляется целесообразным исследование усадочных явлений в процессе «созревания» АГБ, включающего в свой состав цемент, которые могут явиться причиной образования поперечных трещин в АГБ-слое наряду с воздействием низких температур.

Большинство современных расчетных схем проектирования нежестких дорожных одежд предусматривают убывание модулей упругости с глубиной. Но одновременно, как правило, снижаются и основные параметры выносливости пакета монолитных слоев R_u и n. Для АГБ без добавления цемента их значения оказываются ниже, чем для пористого асфальтобетона из горячих смесей. Устранение этого недостатка связано с применением модифицированных вяжущих и волокнистых добавок. Последнее направление представляется особенно перспективным.

Бахрах Г.С. «Холодная» технология регенерации дорожных одежд: Сб. науч. тр. / НПО Росдорнии. – М., 1994, вып. 7. – С. 63-74.

Описан первый в России опыт холодной регенерации дорожной одежды нежесткого типа непосредственно на дороге с использованием в качестве вяжущего цемента. Работы выполнялись с применением дорожной фрезерной машины фирмы «Виртген» (Германия). Полученный в результате укрепления асфальтового

гранулята материал идентифицирован как композиционный. Обращено внимание на сложность обеспечения междуслойного сцепления.

Извлечение

1. Проведенные опытно-производственные работы показали принципиальную возможность усиления дорожных одежд способом холодной регенерации с добавлением цемента при помощи дорожной фрезы 2000 VC-R фирмы «Виртген» (Германия).

2. Дорожные одежды с тонкослойным асфальтобетонным покрытием до 8 см целесообразно усиливать с захватом нижележащего необработанного слоя толщиной не менее толщины покрытия (I тип). В этом случае укрепленный материал соответствует низкопрочному цементобетону.

Дорожные одежды с более толстым асфальтобетонным покрытием целесообразно усиливать без захвата нижележащего необработанного слоя (II тип). В этом случае укрепленный материал обладает смешанными свойствами, близкими к свойствам материала полужестких покрытий.

3. Дорожные одежды, усиленные способом холодной регенерации с добавлением цемента, требуют обязательного устройства защитного слоя. При этом особое внимание должно быть уделено вопросу обеспечения сцепления между слоями.

4. В случае применения технологии II типа следует стремиться к переработке покрытия на всю толщину. В противном случае при расчете на прочность необходимо принимать во внимание отсутствие сцепления между укрепленным и нижележащим слоями.

5. Защитный слой даже из песчаного асфальтобетона, уложенный на укрепленный слой, проявляет высокую устойчивость к колееобразованию. Это делает технологию II типа особенно привлекательной на участках, подверженных пластической деформации.

6. В связи с подверженностью асфальтобетонистого защитного слоя, уложенного на укрепленный слой, значительному трещинообразованию, следовало бы отдать предпочтение макрошероховатому защитному слою или двойной поверхностной обработке.

Внедрение новых технологий в дорожной отрасли. Ремонт основания автомобильных дорог методом холодной регенерации: [Подборка проспектов]. – Самара, б.г.

Извлечение

1. Исходные предпосылки

Многие дороги в регионе подвергаются большим нагрузкам от транспортных потоков с преобладанием тяжелого транспорта. Признаки деформации верхнего слоя и трещины свидетельствуют о несоответствии несущей способности таких дорог существующим нагрузкам. Взятие проб показывает, что слой основания содержит недопустимое количество несвязанных битумом мелких частиц. Ремонт дороги методом регенерации старого основания позволяет привести такие дороги в нормативное состояние.

2. Назначение и принципы работы

Регенерация включает измельчение материала покрытия (при необходимости – частично и основания) методом холодного фрезерования, подгрунтовку основания (если это необходимо), добавление щебня, необработанного или черного, или сфрезерованного материала – асфальтобетонного гранулята (если это необходимо), добавление органического вяжущего (чаще всего в виде катионной эмульсии), или минерального вяжущего (обычного цемента) или в комплексе обоих видов вяжущего, воды, а также регенерирующих добавок (если это необходимо), перемешивание компонентов, распределение смеси в виде конструктивного слоя и уплотнение. Все перечисленные операции производятся непосредственно на дороге.

Типичную последовательность операций можно представить следующим образом.

Взятие проб с существующей дороги

• Определение размеров фракций, плотности и содержания битума.

• Определение несущей способности.

Расчет процесса регенерации

• Определение на основании результатов проб количества нового щебня и битума, которое необходимо добавить.

• Определение толщины регенерируемого слоя исходя из коэффициента несущей способности и ожидаемого коэффициента жесткости.

Выполнение регенерации

• Укладка нового щебня на поверхность дороги.
• Сухое разрыхление на выбранную глубину.
• Разравнивание дороги грейдером.
• Разрыхление и заливка битумом на выбранную глубину.
• Повторное разравнивание дороги грейдером.
• Уплотнение.

Гладков В.Ю., Телюфанова О.П. Термическая регенерация асфальтобетонного покрытия по методу «Ремикс Плюс» на автодороге М-1 «Беларусь»: Сб. науч. тр. / ГП Росдорнии. – М., 1998, вып. 9. – С. 83-87.

Извлечение

Приведен нетрадиционный для России опыт ремонта участка автомобильной дороги М-1 «Беларусь» с использованием технологии термической регенерации асфальтобетонного покрытия по методу «Ремикс Плюс».

Дано описание технологии производства работ комплектом «Ремиксер-4500», методики подбора состава смеси, контроля качества смесей и готового покрытия.

Показаны преимущества технологии термической регенерации асфальтобетонных покрытий по методу «Ремикс Плюс» над традиционными способами ремонта асфальтобетонных покрытий с устройством нового слоя.

В 1996 г. в рамках российского Проекта восстановления и содержания автомобильных дорог, финансируемого Мировым Банком реконструкции и развития (МБРР), при ремонте участка автомобильной дороги М-1 «Беларусь», км 187 – км 215, была использована нетрадиционная для России технология горячей регенерации ремонтируемого покрытия.

Инициатором замены (без дополнительных затрат) традиционной, предусмотренной проектом, технологии ремонта асфальто-

бетонного покрытия, с выравниванием и перекрытием существующего покрытия слоем асфальтобетона, выступил Подрядчик – Гомельский дорожно-строительный трест № 2 (Белоруссия), выигравший конкурсные торги на реализацию инвестиционного проекта.

Подрядчик предложил выполнить термопрофилирование существующего покрытия по технологии «Ремикс Плюс», широко применяемой в Европе, и привлек для этой цели специалистов-консультантов из «Нивельт Лаборатории Гмб Х.» (Австрия) и немецкую фирму «Шмит Асфальттехник (SAT)» – в качестве субподрядной организации. Группа резидент-инженера, осуществляющая в соответствии с процедурой, предусмотренной МБРР, независимый надзор и контроль качества работ при реализации проекта, одобрила предложение Подрядчика и подготовила Заказчику обоснование о целесообразности его принятия. При этом, специалисты группы надзора руководствовались следующим:

- существующее асфальтобетонное покрытие представляло собой многослойную систему из слоев асфальтобетонной смеси типов Г и В с прослойками поверхностной обработки, пронизанную поперечными, раскрытыми на ширину до 15 мм и отстающими друг от друга на 3-12 м, трещинами. При этом в местах сопряжения смежных полос проезжей части и их стыков с полосами уширения имелось значительное количество продольных трещин;
- традиционная технология ремонта трещиновато-блочного покрытия путем его перекрытия слоем асфальтобетона, как показал опыт эксплуатации асфальтобетонных покрытий, не обеспечивает трещиностойкость конструкции: отраженные и температурные трещины в слое перекрытия при таком ремонте проявляются уже на второй год эксплуатации.

Ремонт асфальтобетонного покрытия с использованием термической регенерации способствует повышению трещиностойкости конструкции за счет термообработки существующего трещиновато-блочного покрытия на значительную глубину, устраняющей имеющиеся трещины в покрытии, а следовательно, и источник последующего трещинообразования. При этом надежность принятого решения и используемой технологии

обеспечивались за счет участия в реализации проекта известных и признанных специалистов в области термической регенерации покрытий из Австрии и Германии.

Технология «Ремикс Плюс» имеет все преимущества известных технологий по методу термической регенерации на месте. Она позволяет исключить операции по фрезерованию и предварительному выравниванию существующего покрытия, очистке и заливке трещин, ямочному ремонту и подгрунтовке поверхности покрытия, свойственные традиционным видам ремонта с устройством нового слоя покрытия. Кроме того, используемая при технологии «Ремикс Плюс» организация работ на одной полосе движения существенно уменьшает пробки и заторы на дороге, возникающие в процессе ремонтных работ, и способствует, тем самым, повышению, по сравнению с традиционными технологиями ремонта, безопасности движения транзитного транспорта.

Необходимо также отметить безукоризненные сцепные качества поверхности слоя «Плюс». Значения коэффициента сцепления колеса с покрытием (φ), определенные прибором ППК-2 в различных сечениях участка, составляют от 0,47 до 0,55, что существенно превышает требуемое значение $\varphi_{max} = 0,32$. По всей видимости, столь высокий показатель сцепления можно объяснить частичным попаданием щебня из слоя «Ремикс» в слой «Плюс», тем не менее, это не ухудшило физико-механических свойств асфальтобетонной смеси типа А марки I по ГОСТ 9128-84, используемой для слоя «Плюс».

Однако, пожалуй, самым большим преимуществом рассматриваемой технологии ремонта является возможность, за счет термической обработки ремонтируемого покрытия, существенным образом замедлить процесс трещинообразования, главным образом, проявления «отраженных» трещин. Достаточно отметить, что на второй год эксплуатации, после осенне-зимнего периода, на всем протяжении участка (28 км) было зафиксировано всего две поперечные трещины, в то время как при традиционных видах ремонта на второй год эти трещины выступают на поверхности нового покрытия с шагом 50-70 м.

Отремонтированный участок (км 187 – км 215) автомобильной дороги М-1 «Беларусь» второй год успешно эксплуатируется после его приемки в 1996 г. За период эксплуатации слой «Ремикс Плюс», практически, не претерпел никаких изменений и не имеет каких-либо существенных отклонений в сторону ухудшения транспортно-эксплуатационных характеристик. Например, коэффициент сцепления φ всё также превышает требуемое значение 0,32, а ровность поверхности, отвечающая требованиям СНиП 3.06.03-85 при устройстве слоя, пока не изменилась. Это обстоятельство позволяет считать термическую регенерацию по методу «Ремикс Плюс» одной из перспективных технологий при ремонте асфальтобетонных покрытий и дает возможность рекомендовать ее для широкого внедрения.

Карпенко Ю.В., Нефедов В.Н. Машины для СВЧ-разогрева асфальтобетонных покрытий. – М., 1997. – 51 с. – (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып. 1).

Извлечение

Главными достоинствами технологий нагрева, использующих СВЧ-энергию, являются:

• тепловая безынерционность и близкий к 100% КПД преобразования СВЧ-энергии в тепловую;

• избирательность нагрева многокомпонентной смеси диэлектриков с различным тангенсом угла диэлектрических потерь;

• высокая чистота нагрева;

• автоматическое замедление нагрева высушенных участков, так как тангенс угла диэлектрических потерь у большинства материалов уменьшается по мере их высыхания.

2. СВЧ-СПОСОБ РЕМОНТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Как известно, при ремонте асфальтобетонных покрытий с целью облегчения обработки материала его разогревают специальными машинами-отжигателями и разогревателями. Отжигатели более просты по конструкции, однако при их использовании в

асфальтобетоне происходит выгорание битума под воздействием открытого пламени, что приводит к нарушению структуры асфальтобетона и не позволяет использовать его вторично.

Традиционные асфальторазогреватели по виду теплопередачи делятся на конвекционные (передача теплоты открытым пламенем) и радиационные (передача теплоты с помощью инфракрасных лучей).

Недостатком конвекционных разогревателей является большая продолжительность разогрева покрытия из-за наличия термического сопротивления пограничного слоя лучистому потоку теплоты. Плотность теплового потока, создаваемая ими у поверхности разогреваемого покрытия, составляет 40-46,5 кВт/м^2.

При использовании инфракрасных излучателей лучистая энергия непосредственно поглощается поверхностью и глубинными слоями асфальтобетонного покрытия, причем лучи проникают тем глубже, чем меньше длина излучаемой волны. Максимальное количество теплоты передается при длине излучаемой волны 2,5-2,7 мкм. Плотность теплового потока у поверхности разогреваемого покрытия составляет 70-81,4 кВт/м^2.

Инфракрасные разогреватели по типу нагревателя делятся на газотопливные и электрические. Газотопливные отличаются простотой устройства и обслуживания, а также регулированием мощности излучения в широких пределах. К их недостаткам относятся: задувание пламени при скорости ветра 6-8 м/с, относительно небольшой срок службы, необходимость проведения дополнительных мероприятий по технике безопасности при работе обслуживающего персонала со сжиженным газом (пропаном).

Разогреватели с электрическими нагревателями более долговечны, менее чувствительны к воздействиям ветра и отрицательной температуры окружающего воздуха.

Основным недостатком радиационных разогревателей как газотопливных, так и электрических, является поверхностный характер нагрева, т.е. превращение лучистой энергии электромагнитных колебаний инфракрасного диапазона в тепло происходило в основном в приповерхностных слоях асфальтобетона. Поэтому режим инфракрасного разогрева состоит из двух неравных

по времени периодов: быстрого разогрева поверхности покрытия до температуры не менее 180°С (за счет поглощения лучистой энергии) и медленного его прогрева по всей толщине (за счет низкой теплопроводности при неизменной температуре на поверхности покрытия.) Прогрев толщи покрытия продолжается до тех пор, пока температура на стыке покрытия с основанием не достигнет 80°С.

Такой режим инфракрасного разогрева требует большого количества времени, а значит ограничивает возможности интенсификации разогрева покрытия и сопряжен с большими потерями тепла в окружающую среду во время прогрева.

На практике температура на поверхности покрытия во время инфракрасного прогрева нередко достигает 250-400°С. При этом в верхних слоях деструктирует и выгорает битум с образованием токсичных веществ – продуктов горения, отравляющих окружающую среду и ухудшающих экологическую обстановку.

По сравнению с радиационными разогревателями, СВЧ-разогреватели прогревают покрытие сразу на всю толщину, так как электромагнитные волны СВЧ-диапазона затухают в асфальтобетоне на несколько порядков медленнее, чем электромагнитные волны инфракрасного диапазона. А из-за потерь тепла на нагрев окружающего воздуха и теплового излучения в окружающее пространство температура поверхности асфальтобетонного покрытия оказывается даже несколько ниже температуры в толще покрытия. Это позволяет увеличить скорость прогрева и довести интенсивность излучения до 215 кВт/м. В итоге появляется возможность быстрого разогрева асфальтобетонного покрытия на большую глубину без значительных потерь тепла на нагрев окружающей среды, а также избежать деструкции и выгорания битума, сопровождающихся выделением токсичных веществ.

Кроме того, при использовании СВЧ-разогревателей отсутствует необходимость в применении ёмкостей со сжиженным газом, горелок и запальников, а также открытого огня и излучающих поверхностей, нагретых до высокой температуры (около 700-900°С).

По способу питания СВЧ-разогреватели делятся на два вида машин: с питанием от электросети и с автономным питанием от дизельной электростанции, установленной на самой машине.

Первые предназначены для ремонта тротуаров и проездов в жилых микрорайонах. Благодаря электрическому приводу самоходной тележки и электропитанию от сети СВЧ-разогревателя работа этих машин отличается бесшумностью и отсутствием токсичных продуктов сгорания дизельного топлива и продуктов выгорания битума.

Машины с автономным электропитанием от дизельной электростанции целесообразно использовать на дорогах общего пользования и в местах, где отсутствует электрическая сеть. В этих машинах тепло отработавших газов дизелей применяется для снижения тепловых потерь с поверхности разогретого покрытия.

2.1. Возможности новой технологии ремонта

Федеральная служба испытаний и экспертизы США (Federal Fild Test & Evaluation) рекомендовала к испытанию новую ресурсосберегающую, экологически чистую, низкотемпературную СВЧ-технологию 100%-го восстановления старых асфальтобетонных покрытий непосредственно на дороге, позволяющую сэкономить до 50% денежных средств, обычно выделяемых на восстановление покрытия. При этом получается гораздо более надежное покрытие.

При полномасштабном внедрении этой технологии ежегодная экономия энергии по сравнению с традиционной высокотемпературной технологией восстановления покрытия может превысить 6 млн баррелей нефти (1 млн $м^3$). Экономия денежных средств при этом составит 1 млрд долл.

Бездымная низкотемпературная СВЧ-технология практически не оказывает вредного воздействия на окружающую среду.

Первые созданные устройства для непрерывного ремонта трещин и выбоин в асфальтобетонном покрытии в течение 5 мин нагревают одновременно заплату и основание, на которое она наложена. При этом образуется прочное сцепление материала заплаты с основанием, что исключает проникание под заплату влаги, приводящей зимой к отделению ее от основания. Более того, отсутствует операция холодного выкалывания асфальтобетона под заплату, которая сопровождается образованием требующих

утилизации кусков старого асфальтобетона и дополнительным расходом новой асфальтобетонной смеси.

Традиционные способы ремонта обычно не обеспечивают герметичность соединения заплаты с основанием и зачастую одну илу же выбоину приходится ремонтировать за зиму до 8 раз.

В настоящее время в США имеются установленные на грузовиках устройства СВЧ-разогрева, работа которых основана на использовании для заделки выбоины старого поврежденного асфальтобетона, т.е. достигается близкое к 100% его использование для восстановления покрытия. В отличие от обычного ремонта, который производится по сухому покрытию, заделку выбоин с использованием СВЧ-разогрева можно осуществлять в любую погоду, так как вода, поглощая СВЧ-энергию, испаряется и удаляется из области разогреваемой заплаты и основания.

Были также разработаны СВЧ-устройства для ремонта разрушенных стыков между полосами движения на четырехшестиполосных дорогах.

Наиболее вероятной причиной разрушения покрытия в месте соединения полос является сползание асфальтобетонной смеси к неукрепленному холодному краю при укладке первой полосы. При укладке второй полосы сползание в месте контакта смеси с первой остывающей полосой не происходит. При этом на стыке полос плотность асфальтобетона уменьшается. Между полосами отсутствует прочная связь и в процессе эксплуатации покрытия под влиянием движения транспортных средств стыки разъединяются, а проникающая в них вода, замерзая, быстро разрушает покрытие.

Во время текущего ремонта разрушенных стыков традиционным способом удаляется полоса старого асфальтобетона шириной около 30 см в области стыка и заменяется новой асфальтобетонной смесью.

С помощью СВЧ-устройства для ремонта стыков покрытие восстанавливают без удаления старого асфальтобетона, прогревая полосу вдоль стыка шириной до 30 см и глубиной до 10 см. При этом образуется прочное сцепление разогретого асфальтобетонного покрытия с разогретым цементобетонным основанием дороги.

Подобную технологию ремонта с помощью инфракрасного

нагрева можно осуществить на покрытии толщиной не более 2,5 см. Моррисом (Дик) Джепсоном (г. Carmel, шт. Калифорния, США) предложено для еще большего снижения количества потребляемой энергии помещать под покрытие отражающий СВЧ-энергию экран, которым может служить сетка из металлизированного пластика, если размер ее ячеек существенно меньше длины волны СВЧ-излучения.

Размещать экран рекомендуется заранее, перед укладкой покрытия на дороге, причем сразу по всей его ширине. Это позволит в дальнейшем осуществить ремонт любого разрушенного участка или всего покрытия с большей скоростью и меньшим расходом энергии, так как СВЧ-волны, доходя до экрана, отражаются от него и вновь пронизывают нагреваемое покрытие. Но даже без экрана экономия энергии остается большой.

В зависимости от материала и конструкции отражающих экранов достигаются следующие преимущества от их использования:

• ограничивается проникание влаги на основание дороги;

• снижается возможность выхода наружу частиц материала основания через трещины и стыки покрытия;

• в результате армирования повышается прочность покрытия и сдерживается его растрескивание.

При восстановлении асфальтобетонных покрытий на месте по СВЧ-технологии затраты энергии составляют 305 тыс. Btu/ton (285 кДж/кг) в пересчете на единицу массы восстановленного покрытия, при восстановлении покрытия на месте традиционным способом требуется 512 тыс. Btu/ton (532 кДж/кг), а при переработке старого асфальтобетона на АБЗ (централизованным способом) – 590 тыс. Btu/ton (613 кДж/кг).

Причем расход только тепловой энергии на укладку новой асфальтобетонной смеси составляет 510 тыс. Btu/ton (530 кДж/кг). Кроме того, органические вяжущие, входящие в состав этой смеси могут использоваться как топливо с теплотворной способностью около 37 млн Btu/ton (38420 кДж/кг). Обычно в асфальтобетоне содержится около 5% органического вяжущего, а это значит, что примерно 1850 тыс. Btu/ton (1920 кДж/кг) условно теряется при

укладке нового слоя асфальтобетона из-за неиспользования энергии сгорания топлива.

С учетом других затрат энергии, связанных с добычей, перевозкой и высушиванием всех компонентов новой асфальтобетонной смеси, а также с ее нагреванием, перевозкой и укладкой в горячем виде, общее количество энергии, затраченной на строительство нового асфальтобетонного покрытия, составляет 2372 тыс. Btu/ton (2460 кДж/кг).

Это почти в 5 раз больше энергии, затрачиваемой при традиционной переработке старого асфальтобетона на месте и в 8 раз больше энергии, затрачиваемой на восстановление старого асфальтобетона СВЧ-способом.

Кроме того, для восстановления покрытия обычным высокотемпературным способом требуется добавлять от 30 до 50% исходных материалов, а с использованием СВЧ-технологии в этом нет необходимости.

В правительственном докладе США указывается, что технологическая пригодность СВЧ-нагрева для ремонта покрытий не вызывает сомнений и это доказано на практике. Более того, нет необходимости разрабатывать заново СВЧ-механические и электронные комплектующие изделия, так как для использования пригодны серийно выпускаемые и проверенные на практике в течение последних 20 лет СВЧ-комплектующие изделия.

Актуальность данной проблемы рассмотрим на примере. В США средняя продолжительность эксплуатации покрытия скоростных дорог до его ремонта составляет примерно 5 лет, а масса асфальтобетона, находящегося на дорогах, – 1 млрд т. В стране ежегодно должно восстанавливаться около 200 млн т асфальтобетона. В этом случае широкое использование СВЧ-технологии, по сравнению с двумя другими технологиями, поможет сэкономить до 6 млн баррелей (1 млн м^2) топлива в эквиваленте неочищенной нефти. А ежегодная экономия в денежном выражении при переработке этого количества асфальтобетона СВЧ-способом на месте составит

$$12\ \$/т \cdot 2 \cdot 10^8\ т = 2{,}4 \cdot 10^9\ \$.$$

В правительственном, докладе США также указывается, что

некачественный зимний ремонт дорог приводит к дополнительным затратам на эксплуатацию и ремонт автомобилей. Считается, что это обходится водителям в 882 млн долл. из-за износа шин, колодок, рулевого управления при внезапных торможениях и остановках. Сюда же нужно включить стоимость более чем 1 млрд галлонов (3,8 млн $м^3$) автомобильного топлива, израсходованного при маневрировании для предотвращения попадания автомобиля в выбоины и смягчения толчков и ударов. Если же учесть еще и потери времени из-за вынужденных остановок и снижения скорости автомобилей, то рост расходов на эксплуатацию и содержание автомобиля при езде по такой дороге составит 2,7 цента на одну транспортную милю, или примерно 324 долл. на один автомобиль, если исходить из пробега 12 тыс. миль в год.

2.2. Дополнительные преимущества СВЧ-способа ремонта

Еще большей экономичностью обладают СВЧ-разогреватели, использующие для нагрева покрытия дополнительно к СВЧ-энергии тепло отработавших газов дизельного двигателя, а также теплый воздух из системы охлаждения электронных комплектующих изделий источника СВЧ-энергии.

Так, например, используя горячий воздух дизель-электростанции, питающей СВЧ-установку мощностью 800 кВт, удается получить ту же производительность, что и при СВЧ-мощности в 2000 кВт, но без горячего воздуха. Расчеты показывают, что с помощью 1 галлона (3,8 л) горючего на самоходной СВЧ-установке с дизель-электростанцией удается восстановить 850 фунтов (386 кг) старого асфальтобетона, сэкономив при этом 7 галлонов (27 л) битума, предназначенного для приготовления новой асфальтобетонной смеси.

Кроме того, нет необходимости в проведении таких дорогостоящих процессов, как разрушение старого покрытия, перевозка его кусков и приготовление новой порции асфальтобетонной смеси.

Ремонтируемое покрытие быстро и без повреждений прогревается на большую глубину. При этом отсутствуют дым, деструкция и выгорание битума.

Немаловажным является и тот факт, что стоимость транспортировки материала для устройства покрытия примерно такая же, как и стоимость самого материала. Это объясняется следующим.

Специализированные заводы по приготовлению асфальтобетонных смесей из-за выделения вредных веществ строят обычно вдали от населенных пунктов. Чтобы компенсировать потери тепла во время дорогостоящей перевозки, смесь нагревают до температуры выше требуемой для укладки. При этом увеличивается расход энергии и ухудшается качество асфальтобетона.

Погодные условия при СВЧ-способе мало влияют на процесс восстановления покрытия, так как предварительный его нагрев, размельчение, перемешивание, дополнительный нагрев в атмосфере горячих выхлопных газов дизеля и предварительное уплотнение асфальтобетона производятся под СВЧ-машиной в полной изоляции от окружающей среды.

После СВЧ-нагрева асфальтобетон легко перемешивается, затем в него добавляется 1-2% ароматических соединений, разрушенных в результате окисления и воздействия ультрафиолетовых лучей, и уплотняется.

Восстановление асфальтобетона традиционным способом имеет серьезные недостатки. Инфракрасный нагрев применим только к чистому, имеющему темный цвет покрытию. Старый асфальтобетон из-за перегрева поверхности выгорает, поэтому к нему необходимо добавлять 30-50% нового материала. А это означает, что увеличиваются денежные и энергетические затраты на разработку, погрузку, перевозку и высушивание компонентов для новой смеси. Исходный высококачественный материал имеется далеко не в каждом районе и зачастую его привозят за сотни километров.

Другая проблема заключается в том, что при инфракрасном нагреве к моменту прогрева покрытия на глубину 1 см температура на его поверхности может подняться до 200-280°С. В результате этого, разрушаются органические связующие вещества и прочность асфальтобетона уменьшается. Кроме того, асфальтобетонная смесь уже при 150-260°С начинает выделять вредные вещества и дымиться при более высоких температурах.

При СВЧ-нагреве энергия поступает в смесь в виде энергии электромагнитного поля, которое, проникая в покрытие на всю его глубину, взаимодействует с заряженными частицами, вызывая их колебания, и сам материал преобразует энергию электромагнитного поля в тепловую одновременно во всем занимаемом объеме. Поэтому отсутствуют перегрев поверхности покрытия, разрушение органического связующего, продукты сгорания битума, загрязняющие материал, и старый асфальтобетон повторно полностью используется.

СВЧ-установка равномерно разогревает асфальтобетон до температуры 65-82°С, при которой размягчается связующий материал. При необходимости с помощью горячего воздуха можно быстро повысить температуру материала до 120°С. Это удается благодаря смешиванию горячих выхлопных газов с холодным атмосферным воздухом. Невысокая температура воздушной смеси (260-320°С) в сочетании с СВЧ-нагревом способствуют равномерному разогреву покрытия без выжигания из него битума.

2.3. Рекомендуемые области внедрения новой СВЧ-технологии

Основная область внедрения новой технологии – это восстановление старого асфальтобетонного покрытия непосредственно на дороге. В настоящее время разработана полностью автономная передвижная установка, испытанная в полевых условиях Национальным бюро стандартов, которая используется для ремонта выбоин, стыков полос движения, примыканий дорог, трубопровода в зимнее время и т.д. Для полного ремонта конструкции дороги разработаны и подготовлены к производству более мощные машины. От их внедрения ожидается большая экономия энергии, материала и денежных средств.

Вторым возможным направлением использования СВЧ-установок может быть производство горячих асфальтобетонных смесей, где СВЧ-нагрев обеспечит снижение выбросов вредных веществ.

Третье направление – приготовление сухих компонентов смесей. Обычно такое производство расположено несколько ближе к городу, чем производство горячих асфальтобетонных смесей, и

имеет почти все необходимое оборудование для выпуска смеси. Оснащение его СВЧ-оборудованием позволяет выпускать асфальтобетонные смеси без вредных выбросов в атмосферу.

Следующим возможным направлением применения может быть приготовление асфальтобетонных смесей из старого асфальтобетона, снятого с многослойных покрытий дорог. При этом переработке подлежит весь асфальтобетон. Кроме того, достигается большая экономия энергии, сырья и денежных средств, что особенно актуально в условиях истощения месторождений дорожно-строительных материалов и нефти и роста цен на нефтепродукты.

Уникально применение СВЧ-установки для удаления влаги из толщи покрытия, а также для создания прочного сцепления между высушенными слоями асфальтобетона и между покрытием и основанием дороги. Суть проблемы заключается в том, что под действием солнечных лучей асфальтобетон становится хрупким, а под влиянием транспортных нагрузок в покрытии появляются трещины, через них вода попадает в его толщу и в основание дороги и в результате попеременного замораживания-оттаивания разрушает их.

С помощью СВЧ-установки дорожную одежду прогревают на глубину 10-15 см. Под давлением водяного пара влага выталкивается на поверхность покрытия и удаляется горячими выхлопными газами. После трамбования и уплотнения покрытия битум проникает в высушенные и нагретые поверхностные слои основания дороги, надежно соединяя их. Таким образом, на пути влаги создается надежный барьер.

Кроме того, эту установку можно использовать для удаления влаги из кусков асфальтобетона, долгое время хранившегося в отвалах, и для его переработки. Ранее из-за высокой влажности такой асфальтобетон утилизировался, так как на его высушивание традиционным способом требуется слишком много энергии.

2.4. Особенности новой технологии ремонта

При разогреве тонких покрытий следует учитывать, что установка может прогреть дорожные одежды на большую глубину. Вреда в этом нет, но для экономии энергии рекомендуется под

покрытие заранее укладывать отражающий экран.

Как известно, асфальтобетон состоит из нескольких компонентов, которые по-разному поглощают СВЧ-энергию. Почти не поглощают ее чистый битум и чистый кварцевый песок. В то же время очень хорошо ее поглощают вулканическое стекло и щебень. Поэтому при разогревании покрытий необходимо знать его состав, так как от его поглощающей способности зависят глубина и скорость прогрева. Хотя эти параметры изменяются несущественно (±15%), потому что в основном щебень определяет характер поглощения, а его свойства колеблются незначительно (±15%) в зависимости от места добычи.

Несмотря на то, что СВЧ-мощность установок для дорожных работ более чем в 125 раз больше мощности бытовой СВЧ-печи, а частота СВЧ-генератора равна или меньше частоты СВЧ-печи, утечка СВЧ-мощности у СВЧ-разогревателей такая же, как у бытовых СВЧ-печей.

Лещицкая Т.П., Пахомов В.А. Реологические и усталостные характеристики асфальтобетона, регенерированного холодным способом // Автомоб. дороги: Информ. сб. / Информавтодор. – 2002. – Вып. 1. – С. 14-26.

Извлечение

Для обоснованного конструирования и расчета асфальтобетонных покрытий, содержащих конструктивные слои регенерированного асфальтобетона, необходимо иметь данные об его усталостных свойствах.

Одной из методик определения усталостных характеристик является расчет по результатам испытания на ползучесть, в основу которой положена зависимость усталостных свойств материала от степени его пластичности.

Одновременно возможно установить ряд реологических свойств асфальтобетона, регенерируемого холодным способом. Определение усталостных параметров материала позволит характеризовать его выносливость к воздействию кратковременных нагрузок в сравнении с асфальтобетоном, а также спрогнозировать

срок службы регенерированного слоя в составе конструкции покрытия по критерию усталостного разрушения.

В качестве опытных составов для проведения экспериментальных исследований по определению реологических и усталостных свойств регенерированного асфальтобетона приняты составы (табл. 1) следующих смесей:

- смесь 0 – сфрезерованный материал, уплотненный без добавок;
- смесь 1 – регенерированный асфальтобетон с добавкой битумной эмульсии;
- смесь 2 – то же, с добавкой портландцемента;
- смесь 3 – то же, с добавкой комплексного вяжущего;
- смесь 4 – то же, с добавкой комплексного вяжущего, но с большим содержанием добавок;
- смесь 5 – пористый асфальтобетон марки II, соответствующий требованиям ГОСТ 9128-97.

Таблица 1

Компоненты смеси	Содержание компонентов, % по массе, в составах					
	0	1	2	3	4	5
Сфрезерованный материал	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	Пористый асфальтобетон марки II
Портландцемент (ПЦ-400-Д5)	-	-	3,0	3,0	5,0	
Битумная эмульсия (ЭБК-2) с 50%-ным содержанием битума БНД 60/90	-	3,0	-	2,0	3,0	
Вода	-	-	1,5	1,5	2,5	

Испытания проводились на образцах-балочках (40х40х160 мм) после набора ими проектной прочности.

В качестве реологических характеристик регенерированного асфальтобетона были определены: пластичность, вязкость и теплоустойчивость. Методика нахождения реологических свойств

заключается в определении ползучести материала при постоянно действующей статической нагрузке. Испытания на ползучесть проводились при трех расчетных температурах – 0,10 и 20°С по методике, описанной А.В. Руденским, в соответствии с которой на балочку, установленную на две опоры, воздействовала постоянная нагрузка в виде сосредоточенной силы в середине пролета. Нагрузка позволяла получить ползучесть материала при расчетной температуре, не вызывая разрушения образца в течение времени проведения испытания. Испытание заключалось в фиксировании прогиба материала при помощи индикатора часового типа с ценой деления 0,1 мм в течение 10 мин с момента приложения нагрузки. По результатам испытаний были найдены относительные деформации и построены графики ползучести образцов исследуемых составов, на базе которых определены их реологические характеристики.

В качестве усталостных характеристик определены прочность при динамическом изгибе (одноцикловая прочность), коэффициент усталости и показатель усталостной чувствительности к уровню динамического нагружения.

Прочность при динамическом изгибе определялась на приборе «Госдорнии», имитирующем динамическое воздействие на испытуемый образец подвижной динамической нагрузкой при длительности ее приложения 0,1 с. Для нахождения динамической прочности образцов исследуемых составов на балочку, установленную на две опоры, прикладывалась динамическая нагрузка в виде сосредоточенной силы в двух третях пролета. Эксперимент заключался в определении нагрузки, вызывающей разрушение испытуемого образца за один цикл ее приложения. Испытание проводилось при тех же температурах, что и испытание на ползучесть.

На основе проведенных исследований реологических и усталостных свойств регенерированного холодным способом асфальтобетона можно сделать следующие основные выводы:

- исследуемые составы независимо от применения различных видов добавок обладают реологическими свойствами;

- при уменьшении температуры пластичность регенерированного асфальтобетона снижается, а вязкость возрастает;

- присутствие минерального вяжущего в составе регенерируемой смеси оказывает влияние на проявление реологических свойств регенерированного материала, в частности ведет к снижению его пластичности;

- с увеличением содержания цемента теплоустойчивость регенерированного асфальтобетона возрастает;

- исследование усталостной долговечности при изгибе позволяет дать сравнительную оценку регенерированного асфальтобетона различного состава в условиях близких по типу нагружения к эксплуатационным;

- в наибольшей степени на усталостную долговечность влияет присутствие минерального вяжущего;

- регенерированные асфальтобетоны с добавлением комплексного вяжущего (смеси 3 и 4) имеют наибольшую сопротивляемость усталостному разрушению;

- прочность при динамическом изгибе асфальтобетонов, регенерированных с добавлением комплексного вяжущего (смеси 3 и 4), выше, чем у других составов, что свидетельствует об ограниченной роли кристаллизационных связей в структуре регенерированного материала.

Результаты проведенных исследований по определению реологических и усталостных характеристик позволили дополнить картину работы регенерированного холодным способом асфальтобетона, а также подчеркнуть эффективность использования данного способа и, в частности с применением комплексной регенерирующей добавки (смесь 3). Наряду с этим полученные усталостные характеристики служат основой для прогнозирования срока службы конструкций дорожных и аэродромных покрытий по критерию усталостного растрескивания, что позволит оценить эффективность капитального ремонта асфальтобетонных покрытий с устройством конструктивных слоев оснований из регенерированного холодным способом асфальтобетона.

Матуа В.П., Ярмов М.Н., Дружинин В.Н. Хозяйский подход. Опыт холодной регенерации дорожных одежд в Ростовской области // Дороги России XXI века. – 2002. – № 4. – С. 61-63.

Извлечение

Типовая технологическая карта на устройство основания методом холодного ресайклинга предусматривает следующие виды работ: досыпка существующего практически разрушенного покрытия местным минеральным сырьем толщиной, в среднем, до 10 см (в плотном теле), что обеспечивает общую толщину конструктивного слоя реконструируемых участков дорог от 20 до 35 см; на стадии подготовки основания значительное внимание уделяется обеспечению ровности и поперечных уклонов дороги. После этого проводится регенерация существующей дорожной одежды машиной на заданную глубину с одновременным укреплением фрезерованного слоя 3-6% цемента от массы используемого материала. Подача цемента в ресайклер осуществляется через мобильную смесительную установку в виде водно-цементной суспензии в соотношении 0,5-0,7. Регенерированная влажная масса укрепленного материала вслед за ресайклером между его колесами прикатывается легким катком на пневмошинах (с выключенным вибратором) за два прохода по одному следу. Профилирование поверхности прикатанного слоя основания производится автогрейдером, имеющим автоматическую систему управления отвалом. Слой основания уплотняется пневмокатком и тяжелым комбинированным катком за шесть проходов каждым катком по одному следу. Окончательное уплотнение производится тяжелым комбинированным катком за шесть проходов по одному следу, причем на начальных и конечных стадиях уплотнения вибраторы отключены.

Для предотвращения образования на поверхности основания волосяных трещин рекомендуется два дополнительных прохода катка по одному следу. Поверхность основания предварительно должна быть увлажнена. Уход за уплотненным основанием традиционен: это розлив по поверхности битумной эмульсии или другого пленкообразующего материала. На крайний случай

допускается систематический полив поверхности водой из поливомоечной машины через каждые 2-2,5 ч. Через 7-10 сут твердения основания на его поверхность наносится подгрунтовка битумной эмульсии в количестве 0,6 л/м, после чего по укрепленному слою устраиваются один-два слоя асфальтобетонного покрытия. В отдельных случаях для внутрихозяйственных дорог достаточно нанесения двойной поверхностной обработки. При этом возникают определенные сложности по обеспечению сцепления между покрытием или слоем износа и основанием. На разных участках дорог были опробованы несколько вариантов обеспечения «приживаемости» рассматриваемых слоев. Наиболее эффективным оказался вариант втапливания щебня размером 20-25 мм, обработанного битумом, в свежеуложенный слой из укрепленной смеси. Отдельные участки протяженностью 200-400 м были оставлены без перекрытия для получения сравнительных данных и ведения постоянных наблюдений. Пятилетний научный и производственный опыт применения холодного ресайклинга показал, что материалы, укрепленные различными вяжущими, можно рекомендовать для строительства оснований и покрытий соответствующих категорий автомобильных дорог. При одном и том же расходе цемента наиболее высокие физико-механические свойства имеют укрепленные материалы на основе ФАЛа. Коэффициент морозостойкости этих материалов при содержании цемента 5% составляет 0,96-1,03 через 25 циклов. Несколько уступают по показателям прочности и морозостойкости укрепленные материалы на основе местных некондиционных известняков-ракушечников.

Для стабильной и надежной работы ресайклера глубина регенерируемого слоя в плотном теле для асфальтобетона не должна превышать 12-14 см, для каменных материалов с маркой по дробимости «600» – 20-25 см, для известняков-ракушечников – до 35 см. Введение в укрепленные смеси цемента в количестве не более 5% и соответствующая технология уплотнения основания, описанная ранее, гарантирует отсутствие трещин на поверхности покрытия.

Экономический эффект от применения технологии холодного ресайклинга формируется за счет:

- использования прогрессивных, экономичных конструкций дорожных одежд;

- применения местных нетрадиционных материалов и отходов промышленности, а также повторного использования материалов существующих дорожных одежд;

- снижения материалоемкости дорожных конструкций;

- повышения прочностных характеристик элементов дорожной конструкции, долговечности и, как следствие, существенное увеличение сроков эксплуатации дорог без ремонтных работ.

Мокшин А.И. Маленькая страна // Автомоб. дороги. – 2003. – № 8. – С. 30-31.

Извлечение

Особо следует сказать о холодной регенерации покрытия. В прошлом году мы [ООО Мордовдорстрой] успешно построили 50 км основания автодороги методом ресайклирования, с добавкой в грунт цементной суспензии. В этом году получили еще один ресайклер, который работает на битумной эмульсии. И хотя некоторые недостатки в ходе первых дней работы проявились, в целом машина – чудо. Она перерабатывает двадцатисантиметровый слой старого покрытия так, что после нее на дорогах низших категорий можно не укладывать новые слои асфальтобетона. На федеральных дорогах после уплотнения за ресайклером получается мощное стабилизированное асфальтобетонное основание. Работает эта техника у нас по 12-15 ч в день.

Катионную битумную эмульсию для работы ресайклера и других нужд мы производим на собственной эмульсионной установке датско-немецкого производства уже второй год. При этом постоянно совершенствуем производство и увеличиваем мощность.

Практически все дорожные организации Мордовии перешли на эмульсию при подгрунтовке или, как говорят на западе, для склеивания слоев асфальтобетонного покрытия. Эмульсия работает намного лучше битума. Через некоторое время после розлива зазевавшийся прохожий может оставить в ней каблуки, случайно наступив на обработанный участок.

Вырабатывается эмульсия по шведской технологии, на

шведских эмульгаторах. Рецептура и лабораторное оборудование закуплено у фирмы «Акцо Нобел». И, кстати, наладчик, приезжавший для его установки, осмотрев наше оборудование, сказал, что не первый раз в России, но такого отлаженного и современного производства ему не приходилось видеть не только в российской глубинке, но и в индустриальных центрах.

Пахомов В.А. Исследование прочности асфальтобетона, регенерированного холодным способом // Автомоб. дороги: Информ. сб. / Информавтодор. – 2002. – Вып. 2. – С. 8-18.

Извлечение

Данные методики отличаются условиями проведения и схемами испытаний, расчетными формулами. Но несмотря на эти различия, некоторые из них можно объединить в группы, имеющие общие существенные признаки. Поскольку условия испытаний примерно одинаковы, то существенными отличиями будут схемы испытаний и соответствующие им расчетные формулы.

Анализ методик показал целесообразность проведения испытания по определению предела прочности на растяжение при расколе по двум методикам: со сходными условиями испытания, но различными схемами, и следовательно, расчетными формулами. Первая методика принята в соответствии с ГОСТ 12801-98, вторая – с нормативным стандартом Германии DIN 1048. Особенности выбранных методик испытания на раскол обобщены и представлены в табл. 1.

Критерием выбора методики ГОСТ 12801-98 является то, что она предназначена для апробации и накопления экспериментальных данных с целью нормирования предельных значений данного показателя для традиционного асфальтобетона, который является контрольным материалом при проведении экспериментальных исследований. Критерием выбора методики DIN 1048 послужило ее предназначение для асфальтобетонов, регенерированных холодным способом, а также возможность сравнения полученных результатов с существующими предельными значениями.

Наиболее существенной отличительной чертой двух принятых методик является коэффициент $2/\pi$, присутствующий в

расчетной формуле Технических условий, DIN 1048 и СН 25-74. В последних двух методиках его наличие объясняется особенностью передачи нагрузки на испытуемый образец через специальные аргалитовые прокладки шириной 10 мм и длиной не менее высоты образца. Наличие прокладок позволяет исключить обмятие образца плитами пресса. Кроме этого, прокладки выполняют роль штампов, вдавливаемых в образец и образующих клинообразные участки разрушения материала, которые в свою очередь раскалывают образец строго по вертикали.

Таблица 1

Основные характеристики методик	Выбранные методики определения R_p	
	ГОСТ 12801-98	DIN 1048
Скорость нагружения образца (холостого хода), мм/мин	3,0±0,3, 50±1	50±1
Температура проведения испытания, °С	0±2	5±2
Среда термостатирования	Вода со льдом или снегом	Холодильная камера
Время термостатирования, ч	≥ 1	≥ 1
Характер закрепления образца	Между плитами пресса	Между прокладками
Расчетные формулы	$R_p = \frac{P}{hd}$, МПа	$R_p = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{P}{hd}$, МПа

Для проведения эксперимента были приготовлены составы (табл. 2) следующих смесей:

• смесь 0 – сфрезерованный материал, уплотненный без добавок;

• смесь 1 – регенерированный асфальтобетон с добавкой битумной эмульсии;

• смесь 2 – регенерированный асфальтобетон с добавкой портландцемента;

• смесь 3 – регенерированный асфальтобетон с добавкой комплексного вяжущего;

• смесь 4 – регенерированный асфальтобетон с добавкой большого количества комплексного вяжущего;

• смесь 5 – пористый асфальтобетон марки II, соответствующий требованиям ГОСТ 9128-97.

Таблица 2

Наименование материала	Количество материала, % по массе, в смеси					
	0	1	2	3	4	5
Сфрезерованный материал	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	Пористый асфальтобетон марки II
Портландцемент (ПЦ-400-Д5)			3,0	3,0	5,0	
Битумная эмульсия (ЭБК-2) с 50%-ным содержанием битума БНД 60/90		3,0		2,0	3,0	
Вода	-	-	1,5	1,5	2,5	

Для проведения испытаний были приготовлены образцы-цилиндры размером 71,4х71,4 мм путем формования под давлением 7 МПа для смесей 0-4 и 40 МПа для смеси 5. Давление формовки образцов регенерируемого асфальтобетона было определено по результатам анализа плотности образцов-кернов, отобранных из покрытия, содержащего конструктивный слой асфальтобетона, регенерированный холодным способом.

Хранение образцов, содержащих минеральное вяжущее, осуществлялось в воздушно-влажностной среде при температуре 20±2°С в течение 28 сут.

Согласно принятым методикам, испытания проводились на механическом прессе с программным управлением ИП 5150-50 ПО «Точприбор» (г. Иваново) с ценой деления 1 Н и максимальной нагрузкой 50 кН. Сравнительный анализ полученных результатов представлен в табл. 3.

Таблица 3

Наименование показателя	Методика испытания в соответствии с	Значение показателя для смеси					
		0	1	2	3	4	5
Предел прочности на растяжение при расколе (R_p), МПа	ГОСТ 12801-98	0,50	1,07	1,14	1,52	2,02	0.72
	DIN 1048	0,22	0,74	0,90	0,94	1,03	0,52

Основываясь на результатах, приведенных в табл. 3, можно заключить, что для исследуемых составов в зависимости от принятой методики получаются разные значения R_p. Причем явно прослеживается тенденция завышения этих значений, определенных по ГОСТ 12801-98. Это связано прежде всего с характером деформирования образца под нагрузкой и отсутствием в расчетной формуле коэффициента $2/\pi$.

Оценивая характер разрушения образцов, можно сделать вывод о том, что независимо от состава исследуемых смесей, наблюдаются:

• сильное смятие образца в зонах его контакта с плитами пресса, произошедшее вследствие возникновения больших касательных напряжений, с образованием трещины под углом 10-45° к вертикали в соответствии с методикой ГОСТ 12801-98;

• раскол образца точно по вертикали, что обусловлено вдавливанием в образец аргалитовых пластин под нагрузкой без образования участков смятия в соответствии с методикой DIN 1048.

В связи с тем, что характер деформирования образцов исследуемых составов под нагрузкой различен, необходимо сопоставлять условия проведения испытания материала в лаборатории и на практике в конструктивном слое покрытия. Поскольку при низких отрицательных температурах асфальтобетон плохо сопротивляется растягивающим напряжениям, возникающим от воздействия подвижных эксплуатационных нагрузок, разрушение происходит за счет образования трещин в нижней части асфальтобетонного слоя. С этой точки зрения более приближенным методом оценки такого разрушения является определение предела прочности на растяжение при изгибе. Испытание на раскол также можно проводить, поскольку оно хотя и не в полной мере отражает

реальную картину поведения материала в покрытии, однако механизм разрушения от растягивающих напряжений тот же самый. Кроме того, данное испытание является менее трудоемким, так как не требует изготовления образцов-балочек. Рядом отечественных исследователей для некоторых дорожно-строительных материалов установлена корреляция между показателями предела прочности на растяжение при изгибе и расколе, что свидетельствует о сопоставимости процессов деформации материала под воздействием растягивающих напряжений.

При проведении испытания по определению R_p по методике ГОСТ 12801-98 разрушение образца под нагрузкой происходит от растягивающих напряжений, однако на него воздействуют и другие напряжения. В начальной стадии нагружения образец подвергается сильному воздействию касательных напряжений, сжатию и доуплотнению материала в зонах его контакта с плитами пресса. Затем наблюдается его раскол. За счет влияния различных видов напряжений составляющая растягивающего напряжения определяется при наличии определенной степени погрешности. Кроме того, образование трещины происходит не по вертикали, а с достаточно большим углом отклонения от нее, что не вполне соответствует характеру прорастания трещин в конструктивных слоях асфальтобетонных покрытий, подвергающихся растягивающим напряжениям от воздействия подвижных эксплуатационных нагрузок.

В условиях методики DIN 1048 разрушение образца происходит за счет его расклинивания, образующегося в результате вдавливания в образец аргалитовых прокладок. Их наличие обуславливает присутствие коэффициента $2/\pi$ в расчетной формуле, который позволяет учесть фактор обмятия образца незначительной площадью контакта прокладок. В этом случае составляющие других напряжений сведены к минимуму и напряжение раскола получается более «чистым». Трещина имеет строго вертикальный характер распространения, что соответствует реальному процессу развития трещин асфальтобетонных слоев покрытия.

Текстура поверхности раскола образцов примерно одинакова и не зависит от методики проведения испытания. Анализ текстуры поверхности разрушенных образцов свидетельствует о том, что

сфрезерованный асфальтобетон, выступающий в роли щебня, сопротивляется растяжению при расколе совместно с материалом, образованным связью мелких агрегатов с вяжущими добавками.

Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника / А.П. Васильев, В.И. Баловнев, М.Б. Корсунский и др. – М.: Транспорт, 1989. – 287 с.

Извлечение

10.3. Термопрофилирование асфальтобетонных покрытий

Для восстановления верхнего слоя асфальтобетонных покрытий все более широкое применение находит новая технология, основанная на регенерации (восстановлении утраченных свойств).

Регенерацию выполняют различными способами термопрофилирования, основными операциями которых являются: разогрев покрытия; рыхление его на глубину 2-5 см; планирование разрыхленной смеси; уплотнение. Способы термопрофилирования имеют разновидности: термопланирование; термогомогенизация; термоукладка; термосмешение; термопластификация.

Способ термопланирования – наиболее простой, предусматривает выполнение только основных операций, указанных выше. Средняя глубина рыхления ремонтируемого покрытия зависит от ряда факторов, в том числе от типа асфальтобетона и температуры воздуха.

В режиме термопланирования ремонтируют покрытия из песчаного асфальтобетона с водонасыщением, не превышающим 3% по объему (1,5% для районов с избыточным увлажнением).

При ремонте покрытия из мелкозернистого асфальтобетона с водонасыщением, не превышающим 4% (3% для районов с избыточным увлажнением), или песчаного с водонасыщением более 3% (до 4% включительно) термопланирование сочетают с поверхностной обработкой или ковриком износа. При этом достигается исправление поперечного уклона покрытия в пределах до 4%.

В остальных случаях после термопланирования на покрытие укладывают защитный слой из новой асфальтобетонной смеси.

Наиболее эффективно осуществлять эту операцию в одном потоке с термопланированием. Асфальтоукладчик перемещается на 15-20 м от термопрофилировщика. Благодаря тому, что окончательное уплотнение старой и новой смесей производится в одном слое, повышается его плотность. Кроме того, толщина защитного слоя из новой смеси может быть уменьшена до 1-2 см против 3 см в традиционном способе. Данный режим является разновидностью способа термоукладки.

Способ термогомогенизации отличается от термопланирования тем, что кроме основных операций он предусматривает и регенерацию асфальтобетона путем перемешивания старой асфальтобетонной смеси. При этом повышается однородность асфальтобетона и улучшается уплотняемость слоя, что позволяет несколько расширить область применения этого способа по сравнению с предыдущим.

Способом термогомогенизации ремонтируют покрытия с водонасыщением, не превышающим 4%. Термогомогенизацию осуществляют с применением термопрофилировщиков, оснащенных мешалкой в виде одной машины или комплекта машин.

Способ термоукладки, кроме основных операций, предусматривает добавление новой смеси в виде самостоятельного слоя над разрыхленной старой смесью.

Этот способ в отличие от предыдущих имеет более широкую область применения, так как позволяет ремонтировать покрытия с большими амплитудами неровностей, более глубокими колеями, значительной ямочностью, неудовлетворительными поперечными уклонами и более высоким водонасыщением. Кроме того, этот способ эффективен, когда по каким-либо причинам покрытие не удается разрыхлить на глубину, равную или превышающую минимально допустимую.

Способом термоукладки можно ремонтировать покрытия с водонасыщением до 6%. Количество добавляемой новой смеси зависит от ровности ремонтируемого покрытия, степени его износа и обычно назначается в пределах 25-50 кг/м^2. При необходимости исправления поперечного уклона покрытия более чем на 4% расход добавляемой асфальтобетонной смеси увеличивают.

Преимущество способа термоукладки – возможность одновременного уплотнения старой и новой смеси в одном слое, что повышает его плотность. Термоукладку осуществляют с применением термопрофилировщика, оснащенного оборудованием для приема и распределения новой смеси в виде одной машины или комплекта машин. Можно также использовать комплект оборудования, включающий асфальтоукладчик для добавления новой смеси.

Способ термосмешения в отличие от термоукладки предусматривает перемешивание новой добавляемой смеси со старой и укладку полученной смеси одним слоем.

Его преимущество – возможность коррекции в определенной мере состава старой смеси и ее регенерации. При производстве работ этим способом не предъявляется к старому покрытию требований, ограничивающих его водонасыщение. Расход добавляемой смеси устанавливают в зависимости от ровности ремонтируемого покрытия степени его износа и желаемого изменения свойств старого асфальтобетона. Термосмешение осуществляют с применением термопрофилировщика, оснащенного, кроме оборудования для термоукладки, также и мешалкой.

Способ термопластификации отличается от предыдущих добавлением пластификатора в старую смесь в количестве 0,1-0,6% от массы последней. Эта операция должна сопровождаться перемешиванием. Способ обладает всеми преимуществами термопланирования и термогомогенизации, так как не требует добавления новой смеси. Кроме того, он позволяет регенерировать старый асфальтобетон, расширяет область применения этого способа, распространяя его покрытия с водонасыщением, превышающим 3%. Единственное ограничение применимости способа термопластификации – наличие больших неровностей на покрытии и сильного износа, требующих добавления смеси.

Термопластификацию осуществляют теми же машинами, что и термогомогенизацию, при условии оснащения их узлом введения пластификатора. В качестве пластификатора целесообразно использовать масла нефтяного происхождения, содержание ароматических углеводородов не менее 25% по массе. Наиболее

доступен ренобит – пластификатор, предложенный Гипродорнии. Можно также применять экстракты селективной очистки масляных фракций нефти, моторную нефть, зеленое масло. Показатели физических свойств пластификаторов должны отвечать требованиям:

Вязкость кинематическая при 50°С, $м^2/с$ ..... $(25\text{-}70)10^6$
Температура вспышки в открытом тигле, °С,
не менее 100
Механические примеси, % массовой доли,
не более 2,0
Вода, % массовой доли, не более 4,0
Горючее, % массовой доли, не более ..... 6,0.

Расход пластификатора зависит от глубины рыхления покрытия и скорости термосмесителя.

При капитальном ремонте асфальтобетонных покрытий необходимо стремиться к максимально эффективному повторному использованию старого асфальтобетона. С этой целью применяют технологию регенерации способами термопрофилирования или удаления. В последнем случае покрытие разрыхляют на глубину, превышающую толщину верхнего слоя, не менее чем на 3 см, а разрыхленный асфальтобетон или регенерируют на месте, или используют повторно на другом объекте. Как правило, поверх регенерированного слоя устраивают слои износа, если коэффициент прочности старой дорожной одежды не менее 0,9 или слои усиления при коэффициенте прочности менее 0,9. При этом толщина слоя усиления по сравнению с расчетной может быть уменьшена на 20-25%.

Во втором случае по обнажившемуся слою укладывают обычным способом новый асфальтобетонный слой (или несколько слоев). Снятый старый материал можно регенерировать на специально оборудованных АБЗ.

Чернышева Л.А. Нормы и расценки на работы, выполняемые по новым технологиям // Автомоб. дороги: Науч.-техн. информ. сб. / Информавтодор. – 2000. – Вып. 3. – С. 49-57.

Приведены нормы и расценки на работы по горячей и холодной регенерации покрытий и оснований дорожных одежд.

МАТЕРИАЛЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В АННОТИРОВАННОМ БИБЛИОГРАФИЧЕСКОМ СБОРНИКЕ ПО ВОПРОСАМ СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ (ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ)

Использование регенерированных материалов для строительства дорог с учетом гребований охраны окружающей среды

Umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen im Strassenbau / Rosenberg R. // Asphalt. – 1999. – № 4. – S. 19-23 (нем.).

Подчеркивается важность соблюдения экологических требований при использовании регенерированных материалов для строительства дорог. Приводится перечень изданных по данному вопросу документов. Рассматриваются возможности использования регенерированных материалов с учетом их возможно отрицательного воздействия на грунтовые воды, грунты и др.

Особое внимание уделяется материалам, содержащим канцерогенные вещества, в частности, старым смесям с дегтями и пеками. Представлены схемы, иллюстрирующие особенности выполнения ремонтных работ на участках дорог со старыми покрытиями.

Новые возможности использования регенерированного асфальтобетона. Современные стандарты и их влияние

Neue Möglichkeiten der Verwertung von Ausbauasphalt. Aktualle Regelwerte and ihtre Auswirkungen / Horst E. // Asphalt. – 2001. – № 6. – S. 26-33 (нем.)

В 2000-2001 гг. в Германии были разработаны новые стандарты, касающиеся Технических условий на поставку и использование асфальтобетонного гранулята – продукта холодной регенерации дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием.

В новых документах устанавливаются критерии выбора оптимального количества асфальтобетонного гранулята в новой смеси с учетом свойств асфальтобетонных смесей, технологических

требований к смесительным установкам, а также климатических условий и экологических требований.

Приводится классификация асфальтобетонных гранулятов, используемых при устройстве различных слоев дорожной одежды. Содержатся указания, касающиеся температуры размягчения, процентного содержания вяжущего и заполнителей, содержания фракций менее 0,001 и более 2 мм, способа подачи и подогрева регенерированного материала, типа добавок, соблюдения технологических ограничений и др.

Оптимизация состава регенерированных асфальтобетонных смесей

Optimisierung von Recycling-Asphalten // Baustoff Recycling + Deponietechnik. –1999. – 15, № 10. – S. 40 (нем.).

Статья посвящена вопросу проведения в Германии исследований с целью оптимизации состава регенерированных асфальтобетонных смесей, приготовляемых в установках или непосредственно на строительной площадке. Основное место в исследовании занимали проблемы оценки свойств вяжущего старой смеси с точки зрения возможности использования ее, при соответствующей технологии приготовления, в новых регенерированных смесях. Описывается разработанная методика оценки, приводятся рекомендуемые соотношения старой смеси, добавок вяжущего и минеральных компонентов и их максимальное количество.

Охрана окружающей среды: обработка вспененным битумом регенерированных материалов, содержащих деготь

Umweltschutz: Aufbereitung von teerhaltigem Fräsgut mit Schaumbitumen // Bauwirtschaft. – 1999. – № 7. – S. 45-46 (нем.).

В Нидерландах при строительстве дорог используются регенерированные дегтесодержащие материалы из отвалов. Описываются опытные работы по применению таких смесей с учетом требований охраны окружающей среды, а также мероприятия по нейтрализации дегтей путем добавки в смеси вспененного битума, извести или цемента. Оптимальное количество таких добавок составляет соответственно 3 и 1%.

Преимущества холодной регенерации. Опытные работы в Мекленбурге

Möglichkeiten des Kaltrecyclings. Erfahrungen in Mecklenburg-Vorpormern / Schwarz A. // Asphalt. – 2001. – № 4. – S. 10-14 (нем.).

Описаны преимущества холодной регенерации асфальтобетонных покрытий с использованием в качестве вяжущего битумной эмульсии и цемента. Данная технология применялась при ремонте пяти опытных участков на федеральной автомагистрали А91. До ремонта конструкция дорожной одежды была следующей:

- асфальтобетонное покрытие (толщиной 7-15 см);
- слой щебня с пропиткой (толщиной 0,5-3,5 см);
- морозозащитный слой основания (толщиной 31-33 см).

До ремонта на покрытии имелись колеи, неровности, трещины.

В новой смеси для повышения несущей способности использовали щебень (0/32), цемент с высокой исходной прочностью и битумную эмульсию. Глубина удаления старой дорожной одежды 25 см, толщина слоя основания – не менее 22 см.

После ремонта опытные участки имели следующую конструкцию дорожной одежды:

- верхний слой асфальтобетонного покрытия 0/11 толщиной 4 см;
- нижний слой асфальтобетонного покрытия 0/32 толщиной 10 см;
- слой основания (холодная регенерация с использованием цемента) толщиной 21 см;
- морозозащитный слой основания толщиной 25 см.

Результатом применения холодной регенерации явилось полное восстановление дорожной конструкции, повышение несущей способности, обеспечение горизонтальной и вертикальной «однородности» слоев.

Регенерация на месте материалов дорожных одежд с использованием вяжущего смешанного типа и оборудования MCR 250

Recyclage au liant mixte in situ avec un MCR 250 / Bonvallet J., Cipriani A. // Revue Générale des Routes. – 2002. – № 812, decembre. – P. 29-33 (фр.).

В настоящее время происходит интенсивное развитие методов повторной переработки асфальтобетонных материалов дорожных одежд, что обусловлено экономическими, экологическими и правовыми причинами. Итальянской фирмой Marini разработано новое оборудование для переработки на месте материалов дорожной одежды производительностью 250 т/ч. В качестве добавки используются вяжущие смешанного типа (смесь цемента и модифицированной эмульсии).

В статье рассматриваются рабочие характеристики оборудования. Новая технология обеспечивает открытие движения на дороге в очень короткие сроки, что является важным фактором для перегруженных движением автомобильных дорог в регионе Северной Италии.

Регенерация на полную толщину асфальтобетонного покрытия – универсальная альтернатива

Full Depth Reclamation – the versatile alternative // World Highways. – 2000. – 9, № 7. – P. 19-20 (англ.).

Восстановление любой асфальтобетонной дорожной конструкции путем регенерации на полную толщину слоя покрытия (до 20 см) может использоваться взамен традиционной практики устройства слоев усиления или общей реконструкции. Кратко описывается процесс регенерации, её преимущества.

Регенерированные материалы в дорожных одеждах

Recyclingbaustoffe im Strassenoberbau. Untersuchungen an Asphaltbauweisen mit wiedervervendeten Baustoffen in der ungebundenen Tragschicht des Oberbaus /Kalisch H., Werner H. // Aaustoffrecycling + Deponietechnik. – 1999. – 15, № 7-8. – S. 4-10 (нем.).

Дорожные одежды представляют собой многослойные конструкции из слоев разного состава, испытывающих различные нагрузки. Поэтому по результатам лабораторных испытаний не всегда можно правильно оценить состояние покрытия. Так, Федеральной дорожной лабораторией Германии проводилось моделирование воздействия тяжелых нагрузок и изменений условий окружающей среды с целью оценки в эксплуатационных условиях свойств дорожно-строительных материалов, состояния отдельных конструктивных элементов и дорожной конструкции в целом. В частности, изучался вопрос использования в несущих слоях дорожной одежды регенерированных дорожно-строительных материалов.

Транспортная нагрузка моделировалась устройством, передающим импульсные усилия, соответствующие максимально допустимой колесной/осевой нагрузке.

Необходимые испытания и измерения проводились при соблюдении граничных условий. Оценивались такие показатели, как продольная и поперечная ровность, прогибы и удлинения, основные свойства материалов и температурные характеристики. Кроме того, проводилось сравнение стандартных и нестандартных дорожных конструкций с точки зрения расчетных параметров и использования новых материалов с неизвестными характеристиками.

МАТЕРИАЛЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В РЕФЕРАТИВНОМ ЖУРНАЛЕ ВИНИТИ

03.03-03А.70. Гранулятор для регенерируемых смесей. Recycling-Granulator gegen Eisenteile. Asphalt (BRD). 2002. 37, № 5, с. 46-47, 1 ил. Нем.

Применение для дорожных покрытий регенерированных асфальтобетонных смесей в практике зачастую характеризуется образованием на поверхности недостаточной шероховатости. В Германии объединением ряда фирм разработана и представлена на выставке Bauma конструкция новой машины рециклинг-гранулятора. С помощью этой машины уже приготовлено свыше 100 тыс. т асфальтобетонных регенерированных смесей с включением частиц необходимой формы и крупности. Отмечается, что создаваемые при этом смеси с частицами оптимальных параметров устраняют опасность образования льда, обеспечивают от образования пыли и дорожного шума, снижают полируемость каменных материалов и в целом повышают экономические показатели содержания покрытий. Отмечается также, что машина приспособлена для переработки кирпича, бетонов, стекла, угля, шлаков и т.д. с производитсльностью 90-250 т/ч.

03.04-03А.58. «День регенерации» фирмы Wirtgen.

1. Wirtgen Recycling-Tage in Windhagen. tis. 2002. 44, № 11, с. 53-54, 2 ил. Нем.

На фирме Wirtgen в Виндхагене в сентябре 2002 г. был проведен «День регенерации» с демонстрацией техники фирмы в работе по срезке и использованию старых смесей. Центром внимания стала машина холодной регенерации WR 2500 S. Вместе с мобильным смесителем КМА 200 и стационарным смесителем WR 4200 это создает комплекс для холодной технологии работ. Для WR 2500 S используется двигатель 500 кВт, снабжаемый

катализатором для ОГ. Ее комплект с КМ 2200 обеспечивает производительность до 200 т/ч, что на 50 т/ч больше, что давала машина КМА 150, выпускавшаяся до 1997 г. В новом смесителе – 200 использован дизель мощностью 131 кВт, увеличена до 4500 л вместимость водной цистерны. Наряду с описанной техникой отмечена полная пригодность машины холодной регенерации 2200CR, а также машины WV 1000 по укреплению грунтов цементными суспензиями и известью. Хорошие показатели на таких работах имеет также машина Raco 3500. Для горячей технологии фирмой выпущены машины типа Remixer 4500.

03.05-60.71. Дробилка для рециклинга старого асфальта. Störungsfreie Aufbereitung. Schweiz. Baust.-Ind. 2002. 34, № 6, с. 15, 1 ил. Нем.

Фирмы Benninghaven GmbH & Co. KG и Schober Zerkleinerungstechnik разработали конструкцию специализированной двухвальной дробилки, которая нечувствительна к попадающим в асфальт инородным предметам, например, зубьям экскаватора, и имеет производительность до 250 т/ч. Она уже успешно переработала более 100000 т старого асфальта на фирме Backes Transport und Schlackenaufbereitung GmbH. Дробилка пригодна и для измельчения других материалов – графитных электродов, пористого бетона, каменной соли, кирпичей и т. п.

03.04-03A.59. Машины фирмы Wirtgen для регенерации. Aktuelle Leistungsschau. Asphalt (BRD). 2002. 37, № 7, с. 40-41, 2 ил. Нем.

При фирме Wirtgen проведен семинар для ознакомления с системой выпускаемых фирмой машин и оборудования, исполь-

зуемых при регенерации дорожных смесей. Для проведения холодной регенерации предназначены машины: WR 2500 S, мобильная установка – смеситель KMA 200 и машина WR 4200. Специально для приготовления суспензий выпущена машина WM 1000. Для работ по горячей технологии рекомендованы машины системы HM 4500 – ремиксер. При проведении семинара демонстрировалось практическое использование указанных машин. Фирмой были также показаны в работе отдельные агрегаты машин, в том числе – работа смесителя производительностью 200 т/ч с приводом от двигателя 131 кВт. Демонстрировалась фреза, позволяющая вести срезку старой смеси на глубину до 30 см при захвате до 4,2 м и т.д. В заключение был показан весь цикл работ по срезке старого покрытия с использованием смеси для приготовления и укладки смеси в новое покрытие.

03.07-03А.62П. Метод регенерации дорожного покрытия. Method of resurfacing a road: Пат. 6394696 США, МПК[7] E 01 C 75/32. Road Badger Inc., Culver Larry G. № 09/071305; Заявл. 01.05.1998; Опубл. 28.05.2002; НПК 404/75. Англ.

Запатентована установка для регенерации дорожного покрытия, имеющая раму, на которой смонтирована балка рыхлителя для разрушения дорожного покрытия на контролируемую глубину, а сзади расположен сепаратор для разделения удаляемого материала на крупные и мелкие частицы. Рама поддерживается роликами. На балке рыхлителя подвешены ряды зубьев с возможностью их крепления на различной высоте. Сепаратор представляет собой группу вращающихся дисков, смонтированных на расположенных под углом осях. Диски вращаются в направлении, противоположном направлению движения рамы. Ил. 10.

03.04-03А.60. Увеличение использования регенерированных асфальтобетонных смесей. Asphaltindustrie steigert Wiederverwertung. Asphalt (BRD). 2002. 37, № 7, с. 3. Нем.

В 2001 г. в Германии количество регенерированных асфальтобетонных смесей составило около 15 млн. т. Из них 12 млн. т или около 80% применены в качестве добавок в новые смеси. Общее производство этих смесей в стране увеличилось на 2 млн. т, достигнув 63 млн. т. Если учесть повышение квоты, то можно отметить рост «применимости» регенерированных смесей на 19%.

03.05-60.72. «Холодный рециклер». Kaltrecycler-Nachfolger von Wirtgen. Baust. Recycl. + Deponietechn. 2002. 18, № 10, с. 42, 1 ил. Нем.

Под таким названием (Kaltrecycler) фирма Wirtgen выпускает агрегат модели WR 2500 S, предназначенный для повторного использования дорожно-строительных материалов и стабилизации уложенных в покрытие материалов. Он комплектуется двигателем мощностью 500 кВт, выхлопные газы которого отвечают требованиям EPA, 2-я ступень, и новым компактным управлением с дисплеем.

gost.e-ecolog.ru