

Г.Н. Кирюхин, Е.А. Смирнов

ПОКРЫТИЯ

**из щебеночно-мастичного
асфальтобетона**



Москва 2009

СОДЕРЖАНИЕ	
ВВЕДЕНИЕ	5
1. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА	7
1.1. Особенности структуры ЩМА	10
1.2. Требования к исходным материалам	17
1.3. Проектирование составов смесей	31
2. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ЩМА	43
2.1. Приготовление смеси	43
2.2. Укладка и уплотнение смеси	54
3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА	64
3.1. Контроль приготовления смеси	64
3.2. Контроль устройства покрытий	67
4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА	78
4.1. Сдвигоустойчивость	78
4.2. Трещиностойкость	90
4.3. Износостойкость	95
4.4. Фрикционные свойства и шероховатость покрытий	102
4.5. Другие преимущества покрытий из ЩМА	109
5. МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА	115
5.1. Обзор зарубежных стандартов на материал	115
5.2. Опыт устройства дорожных покрытий из ЩМА	121
5.3. Примеры использования ЩМА в аэропортах	129
5.4. Применение ЩМА в конструкциях мостового полотна	134
5.5. Двойные слои ЩМА	140
6. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЩМА В РОССИИ	147
7. НА ЧТО СЛЕДУЕТ ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ ПОДРЯДЧИКУ	158
7.1. АБЗ и соблюдение гранулометрического состава	158
7.2. Стабилизаторы	160
7.3. Дозаторы	162
7.4. Последствия нарушений проектного состава и технологии строительства	164
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	169
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	171

ВВЕДЕНИЕ

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) был разработан в 1966 году в Германии и, начиная с 1970 года, стал широко применяться в дорожном строительстве, получив название «Splittmastixasphalt» (SMA) [1,2]. Этот вид асфальтобетона появился как результат борьбы дорожных служб Германии с интенсивным разрушением дорожного полотна и образованием в нем колеи из-за роста интенсивности движения большегрузных транспортных средств и применения шипованных шин.

За годы своего использования ЩМА продемонстрировал прекрасные эксплуатационные качества, и в 1984 году был введен первый национальный стандарт Германии на его спецификацию и применение.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон завоевал необычайно высокую популярность в Европе как износоустойчивый материал дорожных покрытий на высоконагруженных трассах, в аэропортах и морских портах, а в последние 10 лет щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси стали также широко распространяться по всему миру.

Поверхность покрытий, получаемая при применении ЩМА, характеризуется комфортными и безопасными ездовыми качествами, а ее текстура отличается шероховатостью и способностью поглощать шум при движении транспортных средств.

Жесткая каркасная структура из щебня, формирующая остов асфальтобетона, обуславливает высокую сопротивляемость слоя пластическим сдвиговым деформациям, а наличие большого количества битумного вяжущего, которое заполняет пространство между зернами каменного материала, делает ЩМА достаточно деформативным и долговечным материалом, способным противостоять воздействию растягивающих напряжений.

Процесс приготовления и укладки ЩМА технологичен, экономичен и не требует каких-либо специальных дорогостоящих дополнительных устройств.

В странах, где достаточно долго применяли ЩМА, специалисты определили, что для получения хорошего качества покрытия необходимо, чтобы смесь была сбалансирована по составу, а укладка и уплотнение производились бы в соответствии с технологическим регламентом на высоком техническом уровне.

Мы очень надеемся, что информация о сути ЩМА, его философии, методах испытания и практике применения в различных странах мира, включая Россию, поможет в работе специалистов, заинтересованных в улучшении эксплуатационных свойств и долговечности асфальтобетонных покрытий.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Специфика состава и структуры ЩМА предусматривает обязательное присутствие в качестве основных составляющих прочного щебня с улучшенной (кубовидной) формой зерен, «объемного» битума и небольшого количества стабилизирующей (обычно волокнистой) добавки для дисперсного армирования вяжущего. Под объемным битумом принято понимать ту часть вяжущего в асфальтобетонной смеси, которая не подвержена сильному структурирующему влиянию дальнодействующих поверхностных сил на границе раздела фаз.

По толщине битумной прослойки, разделяющей минеральные зерна смеси, провести четкую границу между объемным и структурированным битумом практически невозможно. Однако различие между ними существует, так как основное назначение стабилизирующей добавки - удерживать более толстые пленки горячего битумного вяжущего на поверхности щебня и предотвращать его отслоение и вытекание из смеси при высоких технологических температурах на стадиях приготовления, транспортирования и укладки.

В отличие от асфальтобетонных смесей типа А по ГОСТ 9128-97, содержащих от 50 до 60 % щебня, в ЩМА его объем достигает 70-80 %.

По сравнению с многощебенистыми смесями открытого типа по ТУ 218 РСФСР 601-83 [3] ЩМА характеризуется повышенным содержанием битума (от 5,5 % до 7,5 % по массе). Чтобы удерживать его на поверхности щебня необходимо обязательное присутствие в смеси специальных стабилизирующих добавок типа волокон.

ЩМА представляет самостоятельную разновидность асфальтобетона, обеспечивающую в отличие от других типов смесей одновременно водонепроницаемость, сдвигоустойчивость и шероховатость верхнего слоя покрытия.

Остаточная пористость уплотненного слоя ЩМА может быть менее 1 %, но при этом показатели сдвигоустойчивости и шероховатости покрытия остаются на высоком уровне.

Оригинальная спецификация материала позволяет производить его укладку тонкими слоями и, соответственно, на квадратный метр поверхности потребуется меньшее количество этой высококачественной асфальтобетонной смеси. Поэтому ЩМА более рентабелен по сравнению с традиционными материалами для верхних слоев дорожных покрытий, хотя и содержит в своем составе более дорогие и качественные компоненты.

В России оптимальные составы горячих щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей впервые были регламентированы техническими условиями ТУ-5718.021.01393697-97 и ТУ-5718.030.01393697-99, разработанными в СоюздорНИИ [4].

В зависимости от размеров применяемого щебня щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси и асфальтобетон были классифицированы на следующие виды:

При размере зерен до 10 мм - ЩМА-10

----- « ----- до 15 мм - ЩМА-15

----- « ----- до 20 мм - ЩМА-20.

Указанные смеси рекомендуется применять для устройства верхних слоев покрытий толщиной от 3 до 6 см на автомобильных дорогах любых технических категорий и го-

родских улицах в I-V дорожно-климатических зонах. Требования к зерновым составам проектируемых смесей ЩМА-10, ЩМА-15 и ЩМА-20 по ТУ 5718.030.01393697-99 были гармонизированы с Европейскими нормами prEN 13108-6 [5] для марок D8, D11 и D16 (рис. 1).

Разработка технических условий основывалась также на лабораторных исследованиях, позволивших выявить специфику структуры ЩМА и обосновать комплекс требований к составу и физико-механическим свойствам этого материала с учетом климатических условий и методов испытаний, действующих в России. Результаты проведенных исследований, подтвержденные при строительстве и эксплуатации экспериментальных дорожных покрытий из ЩМА, в конечном итоге нашли отражение в ГОСТ 31015-2002 [6].

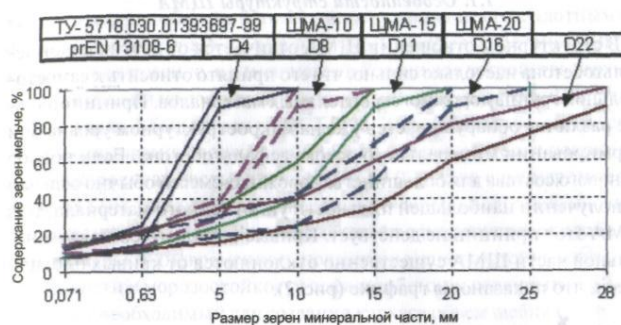


Рис. 1. Предельные кривые зерновых составов щебеночно-мастичных смесей по европейским и российским нормам

Таким образом, до 2003 г. в России действовало несколько нормативных документов уровня «технических условий», регламентирующих составы и свойства ЩМА, по которым осуществлялось опытное строительство дорожных покрытий:

ТУ-5718.021.01393697-97 (ОАО «СоюздорНИИ»), ТУ-5718.030.01393697-99 (Корпорация «Трансстрой»), ТУ-5718-001-00011168-2000 (МАДИ), ВТУ-2001 («Фэцит ДСФ»).

С 1 мая 2003 г. был введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичный. Технические условия», в котором регламентированы наиболее целесообразные составы и технические требования к материалу с учетом климатических условий и нормативно-технической базы России.

Стандарт дает определение ЩМА как материала для устройства верхних слоев покрытий и подразделяет его на виды в зависимости от наибольшей крупности применяемого щебня. Тот или иной вид ЩМА рекомендуется применять с учетом транспортной нагрузки и толщины устраиваемого слоя покрытия.

1.1. Особенности структуры ЩМА

В структурном отношении ЩМА отличается от других видов асфальтобетона настолько сильно, что его принято относить к самостоятельной группе дорожно-строительных материалов.

Принципиальное различие обнаруживается уже на макроструктурном уровне при формировании минерального остова асфальтобетона. Если подбор зернового состава для большинства дорожных смесей обычно основан на получении наибольшей плотности уплотненного материала, то в ЩМА этот принцип не действует. Кривые зернового состава минеральной части ЩМА существенно отклоняются от кривых плотной смеси, что показано на графике (рис. 2).

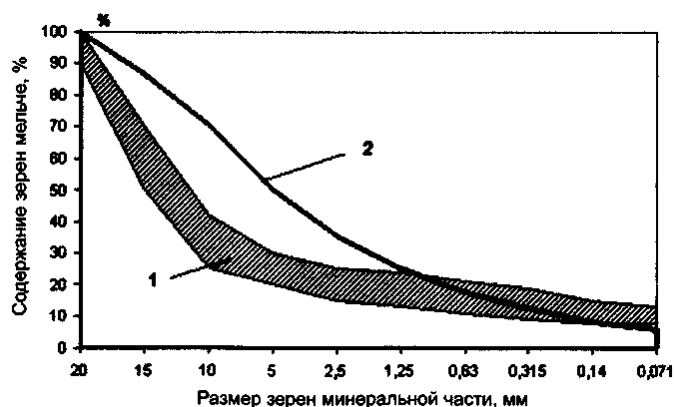


Рис. 2. Зерновые составы смеси ЩМА-20 (1) в сравнении с плотной смесью по Фуллеру (2)

Зерновые составы ЩМА характеризуются высоким содержанием фракционированного щебня (порядка 70-80 % по массе), который должен обладать улучшенной формой зерен для создания максимально устойчивого каркаса в уплотненном слое покрытия.

Чтобы лучше определить особенности структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона производилось сравнение его с плотным асфальтобетоном типа А и с высокоплотным асфальтобетоном (ВПА), которые, как правило, применяются в России для устройства верхних слоев покрытий на дорогах высоких технических категорий.

Асфальтобетон типа А был введен в ГОСТ 9128-76 на асфальтобетонные смеси для повышения сдвигоустойчивости и шероховатости покрытий. Его минеральная часть включает 50-60 % щебня с размером зерен крупнее 5 мм, а количество минерального порошка ограничено пределами 4-8 % по массе.

Высокоплотный асфальтобетон разработан позже с целью одновременного повышения сдвигоустойчивости, водостойкости и морозостойкости асфальтобетонных покрытий [7]. Он включает необходимый для создания каркаса объем щебня (55-65 %), ограниченное количество преимущественно мелкого песка и высокое содержание минерального порошка (10-16%).

Зерновые составы минеральной части, подобранные на основе щебня с максимальной крупностью зерен 15 мм и принятые для приготовления сопоставляемых асфальтобетонных смесей, показаны на графике (рис. 3).

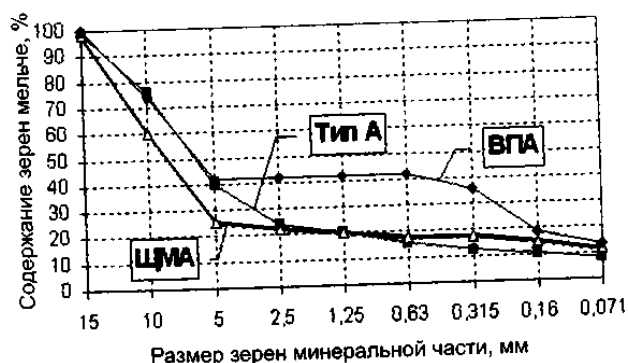


Рис. 3. Зерновые составы сопоставляемых асфальтобетонов: ЩМА, тип А и ВПА

Асфальтобетонные смеси готовились при различном содержании битумного вяжущего, которое варьировали с шагом 0,5 % от массы минеральной части, чтобы установить оптимальный комплекс показателей физико-механических свойств для каждой смеси.

В результате лабораторных испытаний образцов было установлено, что щебеночно-мастичный асфальтобетон, судя по показателям физико-механических свойств, занимает особое место. Пористость минерального остова ЩМА оказалась выше, чем у асфаль-

тобетона Типа А, и значительно больше пористости минерального остова высокоплотного асфальтобетона, причем этот показатель увеличивается пропорционально содержанию битума в отличие от других типов смесей (рис. 4).

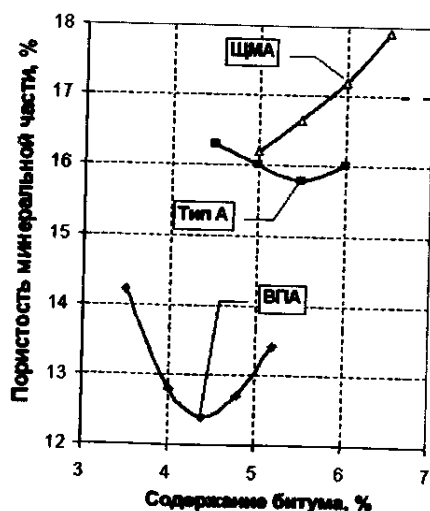


Рис. 4. Зависимости пористости минерального остова асфальтобетонов различных типов от содержания вяжущего

Из представленных данных следует, что плотный и высокоплотный асфальтобетон подчиняются известному правилу створа [8, 9], обнаруживая минимальную пористость минерального остова при оптимальном содержании битумного вяжущего в смеси. Тогда как щебеночно-мастичный асфальтобетон характеризуется неуклонным ростом пористости минерального остова от 16 до 18 % по мере увеличения содержания битумного вяжущего от 5 до 6,5 %.

Повышение содержания битума приводит к снижению остаточной пористости любого асфальтобетона, однако у ЩМА этот процесс выражен в несколько раз слабее, чем у плотного и высокоплотного асфальтобетонов.

Это видно из характера изменения величины остаточной пористости асфальтобетонов в зависимости от содержания битума (рис. 5).

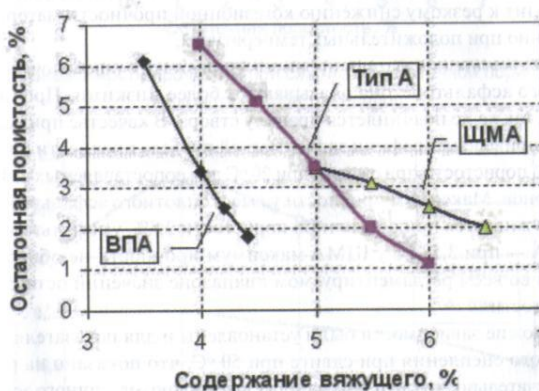


Рис. 5. Зависимость остаточной пористости асфальтобетонов различных типов от содержания вяжущего

При изменении содержания битума в смеси на 1 % по массе остаточная пористость изменяется на 5 % у высокоплотного асфальтобетона, на 3 % у плотного асфальтобетона и всего на 1 % - у щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Аналогично изменяются и показатели водонасыщения рассматриваемых асфальтобетонов. Прирост водонасыщения, вызванный снижением содержания битума на 1 %, составляет 3 % у асфальтобетона типа А и всего 1 % - у ЩМА.

Результаты проведенных исследований показали, что структура ЩМА предусматривает раздвижку минерального остова и присутствие в уплотненном материале слабо-структурированного и объемного битума. Более толстые пленки асфальтового вяжущего в щебеночно-мастичном асфальтобетоне приближают его к литому асфальтобетону [10], однако по степени структурирования битума минеральным порошком, содержанию щебня и по поровой структуре эти материалы не идентичны.

Присутствие объемного битума в ЩМА способствует увеличению его деформативности при растяжении, но в то же время приводит к резкому снижению когезионной прочности материала, особенно при положительных температурах.

В результате показатели прочности при сжатии у щебеночно-мастичного асфальтобетона оказываются более низкими. Прочность ЩМА также не подчиняется правилу створа.

В качестве примера на рис. 6 приведены графики зависимостей предела прочности от остаточной пористости при сжатии при 20 °С для сопоставляемых асфальтобетонов.

Максимум прочности у высокоплотного асфальтобетона обнаруживается при остаточной пористости 2,5 %, у асфальтобетона типа А - при 3,5 %, а у ЩМА максимум прочности не обнаруживается во всем регламентируемом диапазоне значений остаточной пористости.

Похожие зависимости были установлены и для показателя когезионного сцепления при сдвиге при 50 °С, что показано на рис. 7.

Примечательно, что этот показатель у щебеночно-мастичного асфальтобетона также оказался значительно ниже, чем у асфальтобетона типа А. Сцепление ЩМА при сдвиге неуклонно снижается по мере повышения содержания вяжущего от 5 до 6,5 %, а экстремум у этой зависимости также не обнаруживается в отличие от асфальтобетона типа А.

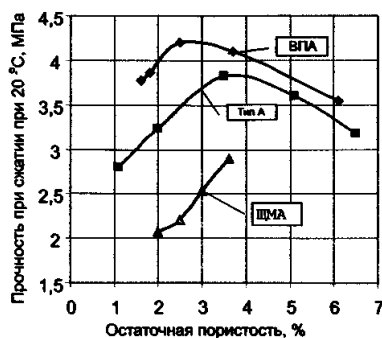


Рис. 6. Зависимости прочности при сжатии от остаточной пористости асфальтобетонов трех видов

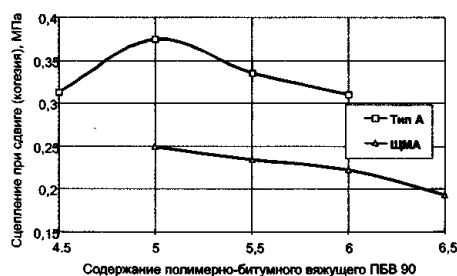


Рис. 7. Зависимость сцепления асфальтобетонов при сдвиге от содержания полимерно-битумного вяжущего ПБВ-90

Аналогичные данные, позволяющие выделить щебеночно-мастичные асфальтобетоны по характеру структуры в самостоятельную группу дорожно-строительных материалов, можно найти и в зарубежных источниках информации.

Например, на сопоставительном графике зависимостей относительной жесткости ЩМА от остаточной пористости также не обнаружен экстремум, который является характерным для асфальтобетонов других типов [11].

Исходя из высоких требований к сдвигоустойчивости дорожных и аэродромных покрытий, низкий показатель когезионного сцепления щебеночно-мастичного асфальтобетона при сдвиге, очевидно, необходимо компенсировать высоким и стабильным внутренним трением минерального остова.

При правильно подобранном составе ЩМА имеет стабильно устойчивый минеральный остов, сформированный на основе одномерного кубовидного щебня. На рис. 8 представлены экспериментальные данные, характеризующие внутреннее трение асфальтобетона типа А и ЩМА.

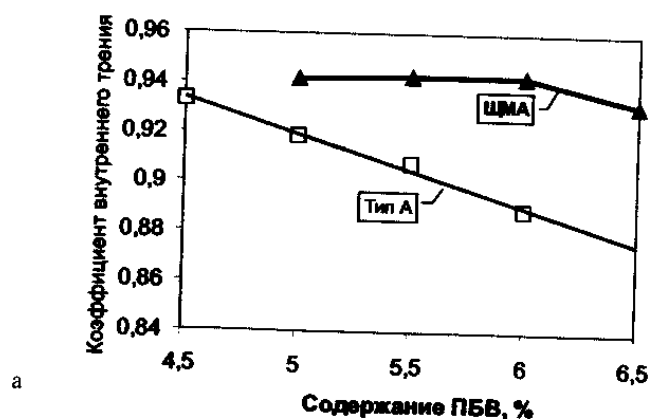


Рис. 8. Зависимость внутреннего трения от содержания вяжущего для асфальтобетонов типов А и ЩМА

Если у асфальтобетона типа А коэффициент внутреннего трения постоянно и существенно снижается по мере увеличения содержания вяжущего, то у щебеночно-мастичного асфальтобетона он практически не зависит от этого фактора и значительно выше по абсолютному значению. Поэтому относительно низкий показатель когезионного сцепления щебеночно-мастичного асфальтобетона, обусловленный более толстыми и менее структурированными пленками битума, компенсируется с точки зрения сдвигоустойчивости более высоким и стабильным внутренним трением минерального остова в уплотненном материале.

Это условие, необходимое для обеспечения сдвигоустойчивости асфальтобетонов, было принято за основу при обосновании требований к стандартным показателям физико-механических свойств, в том числе к пределу прочности при сжатии при температуре 50 °С [12].

Таким образом, структура ЩМА в зависимости от напряженно-деформированного состояния оптимально сочетает максимальную жесткость при трехосном сжатии и сдвиге и одновременно максимальную податливость и высокую деформативность при растяжении. Указанные реологические свойства асфальтобетона особенно важны для обеспечения сдвигоустойчивости и трещиностойкости дорожных покрытий в условиях фактического напряженно-деформированного состояния конструктивных слоев при эксплуатации.

1.2. Требования к исходным материалам

1.2.1. Минеральные материалы

Важнейшим элементом структуры асфальтобетона является щебень.

Для приготовления щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей принято использовать щебень соответствующих фракций (5-10, 10-15 и 15-20 мм) по ГОСТ 8267-93 из плотных трудно шлифуемых горных пород, обладающий хорошим сцеплением с битумным вяжущим.

Допускается использовать щебень из металлургических шлаков по ГОСТ 3344-83, соответствующий общим техническим требованиям. Он обеспечивает высокие фрикционные свойства поверхности устраиваемых покрытий, что важно для безопасности автомобильного движения.

Применяемый щебень по форме зерен должен относиться к 1-й или 2-й группе. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы с соотношением геометрических размеров более чем 1:3 не должно превышать 15 %. Качественный щебень с улучшенной формой зерен, как правило, изготавливают по специальной технологии на соответствующем дробильно-сортировочном оборудовании [3].

Марка щебня по дробимости в цилиндре должна быть не ниже 1200 для изверженных и метаморфических горных пород и не ниже 1000 - для осадочных горных пород и гравия. Марка щебня по истираемости должна соответствовать И 1, марка по морозостойкости должна быть не ниже F 50.

Для приготовления смесей ЦМА необходимо использовать песок только из отсевов дробления горных пород с прочностью не ниже 1000, отвечающий требованиям ГОСТ 8736-93.

Зерновой состав песка должен обеспечивать требования к зерновому составу минеральной части щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси. Содержание глинистых частиц в песке, определяемое методом набухания по ГОСТ 8735-88*, не должно превышать 0,5 %, при этом содержание зерен мельче 0,16 мм в песке из отсевов дробления не нормируется.

Каменная пыль, содержащаяся в песке из отсевов дробления, может быть использована в полном объеме при приготовлении щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей вместо части минерального порошка, тем более что относительное содержание ее в составе смеси, как правило, не превышает 30 % от требуемого количества частиц мельче 0,071 мм.

Минеральный порошок для приготовления ЦМА должен отвечать требованиям ГОСТ Р 52129-2003. Стандартный минеральный порошок для асфальтобетонных смесей марки МП-1 получают в результате помола карбонатных горных пород (известняка или доломита) в специальных мельницах. Он может быть как неактивированным, так и активированным, содержащим небольшое количество добавок поверхностно-активного вещества и гидрофобизатора, введенных в процессе помола минерального сырья.

При использовании в ЦМА активированного минерального порошка следует принимать во внимание, что если для активации применялись маловязкие продукты, то может наблюдаться пластифицирующее действие, проявляющееся в снижении показателей сцепления при сдвиге и прочности при сжатии. Некоторые активаторы негативно влияют на показатель стекания вяжущего, что вынуждает увеличивать содержание стабилизирующей добавки в смеси.

При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается применять в качестве минерального порошка не только пыль из системы пылеулавливания асфальтосмесительной установки (зерна из отсевов дробления горных пород мельче 0,16 мм), но и другие техногенные отходы промышленного производства, отвечающие требованиям ГОСТ Р 52129-2003 к порошку марки МП-2. Их пригодность в качестве минерального порошка должна обосновываться соответствующими лабораторными испытаниями как самого порошка, так и образцов ЦМА, приготовленных на его основе.

1.2.2. Стабилизаторы

Чтобы удерживать горячий битум на поверхности зерен минерального материала во время промежуточного хранения и транспортирования щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, в их состав вводят специальные структурирующие (стабилизирующие) добавки, позволяющие повысить толщину пленок вяжущего.

Вид и свойства этих добавок имеют большое значение для обеспечения требуемого содержания вяжущего и повышения качества смеси. Стабилизирующее действие проявляется в способности препятствовать сегрегации и отслоению (стеканию) битумного вяжущего при высоких технологических температурах.

Вначале в качестве стабилизирующих добавок использовали преимущественно волокна асбеста и резиновую крошку [1], что позволяло вводить в смесь ЦМА до 7 % битума. Затем по технико-экономическим, научно-исследовательским и экологическим соображениям круг стабилизирующих добавок был расширен. В ЦМА стали добавлять целлюлозные, полимерные и минеральные волокна, специальные термопластичные полимеры и производные кремниевой кислоты.

Эти материалы также оказались способными в той или иной степени удерживать большой объем битума в смеси и предохранять ее от расслаивания.

Поиск эффективных стабилизирующих добавок, пригодных для изготовления смесей и улучшающих качество асфальтобетонных покрытий, продолжается до сих пор, на что указывает появление новых видов стабилизаторов, которые не рассматриваются в этой публикации.

В настоящее время широко применяются стабилизирующие добавки на основе целлюлозных волокон благодаря своей технологичности и относительно низкой себестоимости.

Как известно, целлюлоза является продуктом переработки растительного сырья и представляет собой цепочную структуру, состоящую из молекул α или β -целлюлозы, не растворимую в воде. Истинная плотность чистой целлюлозы равна 1,58 г/см³.

Специально выпускаемые для дорожного строительства добавки на основе целлюлозных волокон имеют следующие коммерческие названия: VIATOR, TOPCEL, TECHNOCEL 1004, ITERFIBRA, ANTROCEL, ГАСЦЕЛ и др.

Из акриловых волокон до недавнего времени присутствовали на рынке и предлагались для применения в качестве добавок в асфальтобетонные смеси DOLANIT, DCRET и FORTA.

К стабилизирующим добавкам чаще всего предъявляют технические требования по термостойкости, влажности и однородности. Иногда приводятся рекомендации по геометрическим размерам волокон, удельной поверхности и распределению размеров фибр по длине. Действие стабилизирующих добавок заключается в увеличении толщины пленок битума, что обеспечивает качество и однородность асфальтобетонных смесей.

Как стабилизирующую добавку в смесях ЦМА рекомендуется использовать однородное короткофибровое целлюлозное волокно, имеющее в составе не менее 50 % фибр длиной от 0,5 до 1,9 мм. Пригодность неапробированных волокон (акриловых, минеральных, стеклянных и пр.), как и других добавок (резинового порошка, полимеров и пр.), следует предварительно обосновывать лабораторными испытаниями.

Волокнистая добавка должна быть однородной, без примесей, устойчивой к нагреву до температуры 220 °С и иметь влажность не более 8 % по массе [14]. Она должна соответствовать требованиям соответствующей технической документации производителя, согласованной и утвержденной в установленном порядке. Технические характеристики некоторых стабилизирующих добавок, применяемых в ЦМА, приводятся ниже.

«Виатоп-66» (VIATOR 66) и «Виатоп-премиум» (VIATOR premium) представляют собой цилиндрические гранулы серого цвета без запаха. В соответствии с технической спецификацией VIATOR 66 - это гранулированная смесь, состоящая из целлюлозных волокон ARBOCEL ZZ 8-1 (66,6 %) и битума (33,4 %), а VIATOR premium - это гранулиро-

ванная смесь, на 90 % состоящая из целлюлозных волокон ARBOCEL ZZ 8-1 и на 10 % из битума. Они нетоксичны, физиологически- и взрывобезопасны.

VIATOR 66 характеризуется следующими показателями свойств, приведенными в табл. 1.

Таблица 1. Свойства гранулированной стабилизирующей добавки VIATOR 66

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ	ЗНАЧЕНИЕ
Содержание ARBOCEL ZZ 8-1	65-70 %;
Средняя длина гранулы	4-10 мм;
Средняя толщина гранулы	5 ± 1 мм;
Объемная плотность	480-530 г/л;
Термическое разрушение	200 °С;
Температура возгорания	500 °С;
Растворимость в воде (при 20 °С)	нерастворим;
Базовый исходный материал	техническая целлюлоза;
Содержание целлюлозы	80 ± 5 %;
Водородный показатель pH	$7,5 \pm 1$;
Средняя длина волокон	1,1 мм;
Средняя толщина волокон	45 мкм;
Пенетрация битума при 25 °С	35-50* 1/10 мм;
Температура размягчения битума по КиШ	54-59 °С.

Показатели свойств VIATOR premium приведены в табл. 2.

Таблица 2. Свойства гранулированной добавки VIATOR premium

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ	ЗНАЧЕНИЕ
Содержание ARBOCEL ZZ 8-1	89-92 %;
Средняя длина гранулы	2-8 мм;
Средняя толщина гранулы	4 ± 1 мм;
Объемная плотность	470-540 г/л;
Термическое разрушение	220 °С;
Температура возгорания	500 °С;
Растворимость в воде (при 20°С)	нерастворим;
Базовый исходный материал	техническая целлюлоза;
Содержание целлюлозы	80 ± 5 %;
Водородный показатель pH	$7,5 \pm 1$;
Средняя длина волокон	1,1 мм;
Средняя толщина волокон	45 мкм;
Пенетрация битума при 25 °С	50-70* 1/10 мм;
Температура размягчения битума по КиШ	48-54 °С.

TORCEL представляет собой спрессованные гранулы из волокон целлюлозы, которые не содержат битум, но включают от 10 до 15 % парафинов и характеризуются следующими показателями:

Таблица 3. Свойства гранулированной стабилизирующей добавки TORCEL

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ	ЗНАЧЕНИЕ
Внешний вид	гранулы серого цвета;
Остаток при сжигании	15 %;
Влажность	6 %;
Водородный показатель pH	7 ± 1 ;
Рекомендуемая дозировка	0,3-0,4 %.

TECHNOCEL1004 - целлюлозные волокна серого цвета, не спрессованные, являются исходным продуктом для изготовления гранул TOPCEL. Характеризуются следующими показателями:

Таблица 4. Свойства целлюлозных волокон TECHNOCEL 1004

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ	ЗНАЧЕНИЕ
Содержание целлюлозы	75 %;
Насыпная плотность	25 г/л;
Влажность	6 %;
Водородный показатель pH	7;
Содержание фибр длиной менее	
800 мкм	85 %;
200 мкм	50 %;
32 мкм	15 %

Отечественная целлюлозная добавка «ГАСЦЕЛ» фирмы «ГРИКОЛ-лимитед» в соответствии с Техническими условиями ТУ 5718-005-05204773-03 характеризуется показателями свойств, приведенными в табл.5.

Таблица 5. Свойства целлюлозной добавки ГАСЦЕЛ

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	ХАРАКТЕРИСТИКА И НОРМА	МЕТОД ИСПЫТАНИЯ
Внешний вид	Волокна или гранулы	визуально
Влажность, % по массе, не более	8,0	ГОСТ 31015-02
Теплостойкость, по времени изменения массы, % по массе, не более	7,0	ГОСТ 31015-02
Длина волокон, мм: - 80 % количества - 50 % количества	1,2-1,9 0,5-0,0	определяется под микроскопом
Водородный показатель, pH	7,0	ГОСТ 22567.5-99
Маслоёмкость, кратно весу волокон	5,0	Приложение 2 ТУ

«ДОЛАНИТ АС» (DOLANIT) представляет собой высокопрочное акриловое волокно, характеризующееся нерастворимостью и отсутствием набухания в большинстве растворителей (бензин, минеральные масла, спирты и т.п.) и химической стойкостью к щелочам, кислотам и продуктам гидролиза. Добавка устойчива к ультрафиолетовым лучам, не поддается разложению и не плавится. При температуре свыше 240 °С постепенно принимает оттенок бурого цвета и при 515 °С воспламеняется. Свойства добавки приведены ниже.

Таблица 6. Свойства волоконной добавки DOLANIT

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ	ЗНАЧЕНИЕ
Средний диаметр волокон	13 мкм;
Средняя длина волокон	4 мм;
Поперечный разрез волокон	почковидный;
Цвет	желтоватый;
Плотность	1,18 г/см ³ ;
Прочность при растяжении	910 МПа;
Максимальное удлинение	8-12 %;
Начальный модуль упругости	17100 МПа;

Поставлялся «ДОЛАНИТ» расфасованным в полиэтиленовые мешки весом от 1 до 3 кг.

Эффективность применения стабилизирующих добавок оценивается по их влиянию на комплекс показателей физико-механических свойств ЩМА, в том числе по результатам испытания горячей смеси на стекание вязущего.

Данный метод позволяет оценить способность щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси удерживать содержащееся битумное вязущее при хранении в накопительных бункерах и транспортировании. Пример влияния различных целлюлозных добавок на показатель стекания битума в конкретной щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси приведен на рис. 9.

Из представленных данных следует, что добавки № 1 нужно всего 0,19 %, чтобы обеспечить требуемый показатель стекания битума, тогда как для получения того же эффекта добавки № 4 требуется в количестве 0,45 %.

Пример сравнения влияний двух видов стабилизирующих добавок на предусмотренный ГОСТ 31015-2002 комплекс показателей физико-механических свойств ЩМА приведен в табл. 7.

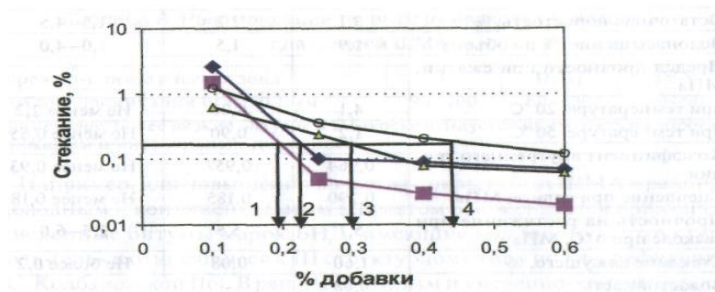


Рис. 9. Влияние различных стабилизирующих добавок на показатель отекания битума в щебеночно-мастичной смеси

Таблица 7. Влияние сравниваемых стабилизирующих добавок на физико-механические свойства ЩМА-15

Наименование показателей	Стабилизатор		Требования ГОСТ 31015-2002
	РТЭП № 92	VIATOR-66 № 72	
Номер и состав смеси, в % массы:	№ 92	№ 72	
Содержание зерен мельче 15 мм	100	100	90-100
— « — мельче 10 мм	49,6	49,6	40-60
— « — мельче 5 мм	30	30	25-35
— « — мельче 0,63 мм	17,6	17,6	12-22
— « — мельче 0,071 мм	10,3	10,3	9-14
Содержание вязущего, сверх 100 %	6,0	6,0	-
в том числе содержание добавки, %	0,45	0,45	-
Физико-механические свойства:			
Средняя плотность, г/куб. см	2,477	2,500	-
Пористость минерального остова, %	17,6	16,8	15-19
Остаточная пористость, %	3,1	2,2	1,5-4,5
Водонасыщение, % по объему	1,9	1,5	1,0-4,0
Предел прочности при сжатии, МПа			
при температуре: 20 °С	4Д	4,00	Не менее 2,2
при температуре: 50 °С	1,2	0,90	Не менее 0,65
Коэффициент внутреннего трения	0,964	0,957	Не менее 0,93
Сцепление при сдвиге, МПа	0,290	0,185	Не менее 0,18
Прочность на растяжение при расколе при 0 °С, МПа	5,7	5,5	2,5-6,0
Стекание вязущего, %	1,60	0,08	Не более 0,2
Водостойкость	0,98	-	-

То же при длительн. водонасыщении	0,77	0,85	Не менее 0,85
<i>Заключение:</i> В щебеночно-мастичной смеси ЦМА-15 заданного состава представленный образец гранулированного РТЭП (резиновый термоэластопласт) по сравнению с популярной целлюлозной добавкой VIATOR-66 не обеспечил требуемый показатель стекания битумного вяжущего по ГОСТ 31015-2002. РТЭП способствует повышению показателей прочности при сжатии и сцепления при сдвиге при 50 °С, однако не улучшает водостойкость асфальтобетона.			

1.2.3. Битумные вяжущие

Для приготовления щебеночно-мастичных смесей применяют битумы нефтяные дорожные вязкие, отвечающие требованиям ГОСТ 22245-90, полимерно-битумные вяжущие (ПБВ) по ГОСТ Р 52056-2003, а также другие, выпускаемые по технической документации, согласованной и утвержденной в установленном порядке.

Нефтяной дорожный битум представляет собой сложную дисперсную систему, состоящую из смеси разнообразных высокомолекулярных соединений нефти, которые по величине молекулярного веса и характеру растворимости в селективных растворителях объединяют в группы углеводородов (масел) смол и асфальтенов.

При выборе марки битумного вяжущего для ЦМА целесообразно руководствоваться рекомендациями, приведенными в табл. 8.

При выборе структурного типа дорожного битума руководствуются методическими рекомендациями [15].

Таблица 8. Рекомендации по выбору вязкости вяжущего для смесей ЦМА

Дорожно-климатическая зона	I	II-III	IV-V
Глубина проникания иглы, 0,1 мм	90-200	60-130	40-90
<i>Примечание:</i> Более вязкие битумы и ПБВ рекомендуется применять на дорогах с тяжелым и интенсивным движением.			

Например, для повышения качества покрытий из ЦМА в районах с холодным и континентальным климатом рекомендуется применять окисленные битумы марок БНД, имеющие коллоидную структуру «золь-гель» и относящиеся к III структурному типу по классификации А.С. Колбановской [16].

В районах с теплым и умеренно-континентальным климатом предпочтительно использовать остаточные битумы, в том числе битумы II структурного типа марок БН, коллоидная структура которых «золь».

Классификация, предложенная А.С. Колбановской, основана на групповом составе нефтяных дорожных битумов. На рис. 10 приведена диаграмма, характеризующая относительное содержание асфальтенов (А), смол (С) и масел (М) в битумах трех структурных типов.

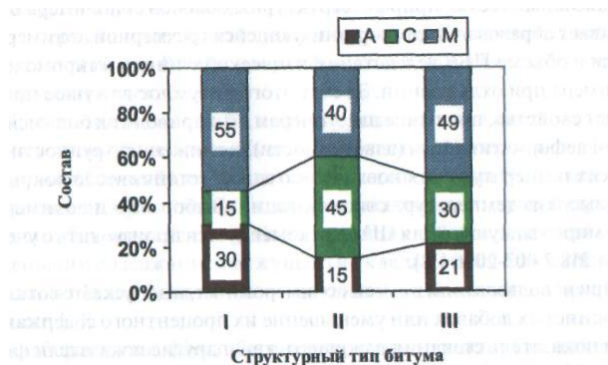


Рис. 10. Групповые составы нефтяных битумов различных типов структуры

Битумы I структурного типа применять не рекомендуется, так как они не устойчивы к старению. Обычно к I структурному типу или типу геля относятся сильно окисленные и состарившиеся битумы, присутствующие в старом асфальтобетоне, которые не отвечают требованиям ГОСТ 22245-90.

Независимо от условий применения необходимо ориентироваться на такие битумные вяжущие в ЩМА, которые имеют наиболее высокую адгезию с поверхностью применяемого щебня.

При плохом сцеплении вяжущего со щебнем рекомендуется использовать добавки активаторов или поверхностно-активные вещества, например, катионного типа в случае применения кислых каменных материалов.

В целях повышения устойчивости к воздействию тяжелых транспортных нагрузок и экстремальных температур рекомендуется применять ЩМА на основе полимерно-битумных вяжущих (ПБВ), особенно для устройства покрытий на мостах и городских улицах [17]. Наиболее широкое применение в дорожном строительстве получили ПБВ, содержащие добавки трехблочного сополимера типа «стирол-бутадиен-стирол» (SBS) в количестве до 6,5 % от массы битума.

Различная физико-химическая природа структурных блоков сополимера обеспечивает образование самоорганизующейся трехмерной полимерной сетки в объеме ПБВ вследствие физической сшивки макромолекул полимера при охлаждении. За счет этого битумное вяжущее приобретает свойства, присущие эластомерам, что приводит к большей упругой деформативности (эластичности), к снижению хрупкости при низких температурах и к повышению сдвигоустойчивости покрытия при высоких температурах эксплуатации. Выбор марки полимерно-битумного вяжущего для ЩМА рекомендуется производить с учетом ОДМ.218.2.003-2006 [18].

При использовании в смеси полимеров иногда допускается отказ от волокнистых добавок или уменьшение их процентного содержания, если показатель стекания вяжущего, как и другие показатели физико-механических свойств ЩМА, соответствуют регламентируемым действующим нормам.

Это достигалось при применении полимерной добавки «ВЕСТОПЛАСТ», молекулы которой состоят из блоков «пропилен-бутилен-этилен».

Данная модифицирующая добавка поставляется в виде гранул и вводится в минеральную часть смеси вместе с минеральным порошком. Имея температуру размягчения около 100 °С, «ВЕСТОПЛАСТ» расплавляется в смесителе при технологических температурах перемешивания, после чего адсорбируется на поверхности минеральных зерен в виде «частокола», способствуя сохранению однородности смеси при достаточно высоком содержании битума.

Следует отметить, что ГОСТ 31015-2002 распространяется на щебеночно-мастичные смеси, содержащие стабилизирующую добавку, которая вводится на стадии приготовления смеси. В то же время в последнее время исследователи асфальтобетона и рационализаторы уделяют большое внимание технологиям приготовления щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей без применения специальных битумоудерживающих добавок. К этому подталкивают соображения экономии и стремление упростить технологический процесс.

Одно из направлений - изменение состава минеральной части за счет повышения содержания минерального порошка.

Другое - модификация структуры битумного вяжущего до начала приготовления смеси. Однако в первом случае может ухудшаться удобоукладываемость асфальтобетонной смеси. Второе направление, на наш взгляд, заслуживает внимания и обсуждения.

При проведении анализа применяемых составов смесей и технологий устройства покрытий между ними выявляются определенные различия.

Например, по данным шведского концерна NCC, щебеночно-мастичные смеси типа «Viasogrip» на основе полимерно-битумных вяжущих без применения стабилизирующих

добавок характеризуются меньшим содержанием вяжущего и укладываются более тонкими слоями (от 15 до 25 мм) в отличие от смесей с добавками целлюлозных волокон [19].

В лаборатории асфальтобетона и черных материалов СоюздорНИИ было установлено, что применение ПБВ по ГОСТ Р 52056-2003 в щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси по ГОСТ 31015-2002 позволяет снизить содержание целлюлозных волокон примерно на 30 %, но полностью отказываться от стабилизирующей добавки не следует.

Начиная с 2004 г. в г. Москве в соответствии с научно-технической программой «Совершенствование технологии дорожных ремонтно-строительных работ в период 2004-2005 гг.» ряд асфальтобетонных заводов (АБЗ) совместно с НПП «Инфотех» изготавливали для опытной укладки верхних слоев дорожных покрытий смеси типа ЩМА на основе композиционного резинобитумного вяжущего «БИТРЭК» без добавления волокон.

Зерновые составы минеральной части асфальтобетонных смесей подбирались по ГОСТ 31015-2002, а применяемое резинобитумное вяжущее соответствовало марке «БИТРЭК 60/90» по ТУ 5718-001-58528024-04. Эти асфальтобетонные смеси были уложены в верхние слои покрытий в г. Москве и Московской области, в том числе на грузонапряженных участках МКАД и Волоколамского шоссе.

Наблюдение за эксплуатационным состоянием и работоспособностью дорожных покрытий, созданных с применением экспериментальных асфальтобетонных смесей, поручено ГУП г. Москвы «Центр мониторинга дорог и дорожных технологий» и продолжается до сих пор.

Без использования стабилизирующих добавок могут приготавливаться щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси на основе гелеобразного битума (Multigrade Asphalt Cement Powder). Этот модифицированный нефтяной битум получают по разработанной и запатентованной в США технологии.

Гелеобразное состояние вяжущего достигается в результате реакции омыления в расплавленном и обезвоженном битуме, по крайней мере, одной жирной кислоты и одной смоляной кислоты (в соотношении примерно 1:1) основаниями щелочных металлов или добавлением уже омыленных кислот в разогретый битум [16].

Данная технология усиливает тиксотропные свойства вяжущего, исключается стекание модифицированного битума с крупных зерен каменного материала при высоких температурах, повышается стойкость асфальтобетона к деформациям при высоких температурах.

Первоначально для перевода битума в гелеобразное состояние требовалось полномасштабное оборудование, включая диспергатор, затем процесс модификации был значительно упрощен за счет применения специально разработанного для этой цели МАК-порошка.

Горячие щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси на МАК-битуме (МАК-ЩМА) стали использоваться при устройстве защитных слоев дорожных покрытий в США и Китае. По опубликованным данным, основными достоинствами слоев из МАК-ЩМА являются:

- малая остаточная пористость, обеспечивающая водонепроницаемость защитных слоев покрытий;
- шероховатость поверхности защитного слоя, обеспечивающая отличные сцепные и противозаносные характеристики покрытия;
- сдвигоустойчивость при высоких температурах, стойкость к образованию колеи;
- устойчивость к образованию усталостных повреждений от транспортных нагрузок и лучшее противостояние отраженным трещинам;
- малая скорость старения при окислении вяжущего, и как результат - более длительный срок службы покрытия.

1.3. Проектирование составов смесей

Целью проектирования состава смеси является создание оптимальной структуры ЩМА с заранее заданными свойствами, которые должны обеспечить в конечном итоге требуемые эксплуатационные характеристики устраиваемого дорожного покрытия.

Сущность проектирования состава смеси состоит в выборе минеральных материалов и битумного вяжущего исходя из их физико-механических свойств, а также в определении такого соотношения компонентов, которое в результате дает оптимальную структуру асфальтобетона.

Выбор оптимального типа асфальтобетона и проектирование его состава в зависимости от свойств исходных материалов, дорожной конструкции, характера автомобильного движения и климатических условий местности всегда являлись основными задачами строительства долговечных асфальтобетонных покрытий [17,18]. Традиционно проектирование асфальтобетонной смеси сводится к подбору зернового состава минеральной части и определению оптимального содержания битумного вяжущего. Общие принципы проектирования составов смесей остаются неизменными, в то же время подбор состава ЩМА имеет свои особенности.

Прежде чем проектировать состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси необходимо выбрать ее вид (по крупности применяемого щебня), исходя из проектной толщины устраиваемого слоя покрытия.

Смесь ЩМА-10 рекомендуется применять для устройства слоев покрытий толщиной 2-4 см, ЩМА-15 - при толщине слоя 3-5 см и ЩМА-20 - при толщине 4-6 см.

Для более тонких и более толстых слоев покрытий рекомендуется разрабатывать иные смеси. Например, при необходимости могут быть запроектированы по специальным техническим условиям песчаные (ЩМА-5) и крупнозернистые смеси (ЩМА-30, ЩМА-40) с максимальным размером зерен каменного материала 5 мм и до 40 мм соответственно.

Процесс подбора оптимального состава ЩМА можно условно разделить на три этапа:

- На первом этапе в результате лабораторных испытаний определяют качество исходных минеральных материалов и битумного вяжущего, чтобы установить соответствие показателей свойств действующим требованиям.
- На втором этапе определяют рациональное соотношение содержания щебня, песка из отсева дробления, минерального порошка, битума и стабилизирующей добавки в смеси, чтобы обеспечить показатели свойств асфальтобетона, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 31015-2002.
- На заключительном этапе рекомендуется проводить технико-экономическое сравнение вариантов подобранных составов смесей, отработку технологии приготовления смеси на асфальтобетонном заводе и, при необходимости, корректирование состава с учетом результатов пробной укладки и испытаний проб смесей из пробных замесов в заводской смесительной установке.

Минеральную часть ЩМА подбирают на основании предварительно установленных зерновых составов фракционированного щебня, песка из отсева дробления и минерального порошка по предельным зерновым составам, приведенным в табл. 9.

Таблица 9. Требования к зерновым составам ЩМА

Вид смеси	Содержание зерен в %, мельче данного размера, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
ЩМА-10			100-	40-	29-	26-	22-	20-	17-	15-
			90	30	19	16	13	11	10	10
ЩМА-15		100-	60-	35-	28-	25-	22-	20-	16-	14-
		90	40	25	18	15	12	10	9	9
ЩМА-20	100-	70-	42-	30-	25-	24-	21-	19-	15-	13-
	90	50	25	20	15	13	11	9	8	8

Примечание. При приемосдаточных испытаниях допускается определять зерновые составы смесей по контрольным ситам в соответствии с данными, выделенными жирным шрифтом.

Основную часть состава используемого щебня должна составлять крупная фракция.

Соотношению крупной и мелкой фракций в минеральной смеси также придается особое значение, так как от него будут зависеть технологические свойства горячей смеси, пористость минеральной части асфальтобетона, оптимальное количество битума и в конечном итоге - эксплуатационные свойства покрытия.

Например, относящиеся к ЩМА документы AASHTO требуют, чтобы величина межзерновых пустот в асфальтобетонном остова, составленном из крупных фракций щебня, была равна или меньше пустотности предварительно уплотненного в цилиндре сухого щебня. Это требование призвано гарантировать формирование скелета из крупных фракций щебня при уплотнении слоя ЩМА на дороге.

Весьма примечательно, что при проектировании зернового состава минеральной части для ЩМА в некоторых дорожных лабораториях США применили эмпирический метод Роберта Бэйли (Robert D. Bailey), основанный на анализе численного соотношения заполняющих и каркасообразующих фракций.

В процессе подбора состава определяют параметр СА - соотношение мелких и крупных зерен каменного материала в смеси. Рассчитывается он следующим образом.

Сначала выбирают размеры ячеек контрольных сит из стандартного набора, применяемого для отсева минеральных материалов.

Контрольное сито № 1 назначается по номинальному размеру квадратного отверстия, соответствующему крупности зерен $D_{ном}$ в проектном составе ЩМА, например 19 мм.

Контрольное сито № 2 должно соответствовать половине номинального размера, т.е. $19/2 = 9,5$ мм.

Контрольное сито № 3 выбирают как наиболее близкое к размеру, определяемому как $0,22 D_{ном}$, т.е. равным 4,75 мм.

При подборе состава минеральной части ЩМА параметр СА вычисляется в виде отношения содержания мелких зерен щебня к крупному щебню, в рассматриваемом случае это будет соотношение веса фракции 4,75-9,5 мм к полному остатку на сите 9,5 мм.

Этот показатель во многом определяет свойства асфальтобетонной смеси. Чем выше величина параметра СА, тем труднее будет уплотняться асфальтобетонная смесь соответствующего зернового состава минеральной части и тем больше будет пористость минерального остова асфальтобетона. При формовании образцов методом вращательного уплотнения (в гираторе) было установлено, что изменение параметра СА на 0,2 приводит к изменению пористости минеральной части ЩМА примерно на 1 %.

Зерновой состав песчаной части смеси мельче 4,75 мм также подвергается анализу.

Соответственно, четвертым контрольным размером отверстия сита будет $4,75/2 \approx 2,36$ мм, а пятым контрольным ситом - $0,22 * 4,75 \approx 1,18$ мм.

Чем выше частный остаток на сите 2,36 мм, т.е. чем крупнее песчаная составляющая минеральной части ЩМА, тем в большей степени она будет раздвигать каркас из щебня. Аналогичному анализу подвергается песчаная часть зернового состава смеси мельче 1,18 мм.

Изменение зернового состава песчаной составляющей позволяет дополнительно регулировать пористость минеральной части асфальтобетона, удобоуплотняемость и склонность к сегрегации асфальтобетонной смеси.

В связи с этим рекомендуется применять специальный тест AASHTO TP33 для оценки формы зерен песка по известной методике для минерального материала, прошедшего через сито 2,36 мм.

Изменяя зерновой состав смеси на контрольных ситах, можно добиться желаемых свойств ЩМА.

Кроме того, для определения наличия прямого контакта между крупными зернами в ЩМА существуют методы оценки межзерновой пустотности щебня после его уплотнения в цилиндре штыкованием или другим способом.

Например, в Китае при проектировании составов ЩМА и подборе зерновых составов минеральной части используется критерий оценки соотношения межзерновой пустотности щебня в цилиндре и в асфальтобетонных образцах, сформованных методом Маршалла. Пористость щебеночной составляющей в образцах Маршалла должна быть меньше, чем объем межзерновых пустот в щебне, уплотненном в цилиндре, что считается критерием наличия прямого контакта между крупными частицами в асфальтобетоне. Соблюдение этого критерия регламентировано при подборе составов ЩМА по методу Маршалла.

В России зерновой состав минеральной части подбирают по установленным опытным путем предельным кривым (рис. 1). Кривая зернового состава должна располагаться в зоне, ограниченной предельными кривыми. Подбор можно осуществлять с помощью компьютерной программы [23] или вручную [24]. Если показатели истинной плотности крупной и мелкой фракции будут существенно различаться, то содержание минеральных компонент целесообразно подбирать по объему [25].

Содержание любой фракции в минеральной смеси рассчитывают в зависимости от общего объема смешиваемых компонентов и их зерновых составов по следующей формуле:

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j x_{ji}}{100}, \quad (1)$$

где Y_i — содержание i -й фракции в смеси;

j — номер компоненты;

n — количество компонент в смеси;

α_j — содержание j -й компоненты;

x_{ji} — содержание i -й фракции у j -й компоненты.

При подборе зернового состава смеси следует учитывать содержание зерен мельче 0,071 мм в песке из отсева дробления и условия их частичного удаления из сушильного барабана системой пылеулавливания.

При сухой системе пылеулавливания предусматривается дозирование циклонной пыли в смесительную установку вместе с минеральным порошком. При мокрой системе пылеулавливания удаленную из смеси пыль необходимо восполнить добавкой минерального порошка.

Содержание битума и стабилизирующей добавки можно предварительно определить на основании компьютерных расчетов по специальным алгоритмам, а также по примерному расходу компонентов смеси, приведенному в ГОСТ 31015-2002, или же опираясь на опыт проектирования составов ЩМА на других минеральных материалах.

Минимальное содержание битумного вяжущего в ЩМА (в процентах по массе) можно назначить, исходя из графика (рис. 11), построенного по нормам AASHTO PP 41-02 [25].

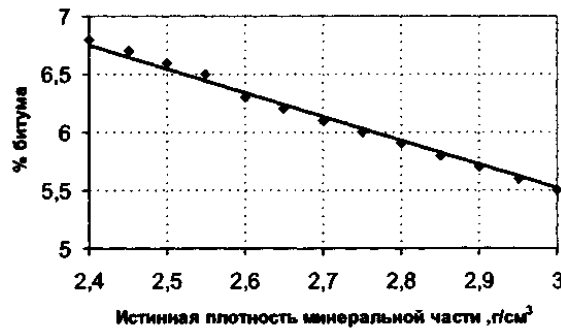


Рис. 11. График минимального содержания битума в ЩМА

Весьма эффективным оказался расчет проектного содержания битума в ЩМА, исходя из требуемого объемного содержания асфальтового вяжущего вещества, которое было установлено по способности «самозалечивания» дефектов и пор в дорожном покрытии [26]. При заданном количестве минерального порошка в ЩМА расчетное содержание битума коррелируется с величинами, принятыми по графику на рис. 11.

По подобранному рецепту в лаборатории готовят пробный замес асфальтобетонной смеси массой около 3 кг. При этом необходимо особенно тщательно распределять навеску стабилизирующей добавки по объему смеси. Пробу приготовленной горячей смеси испытывают на стекание вяжущего. Схема испытания приведена на рис. 12.

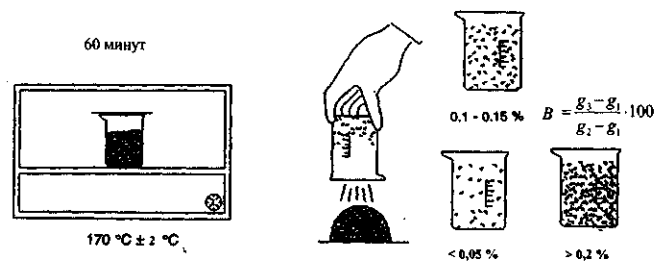


Рис. 12. Схема испытания смеси на стекание вяжущего

При показателе стекания больше 0,3 % увеличивают содержание стабилизирующей добавки на 0,05-0,1 % или снижают содержание битума в смеси. При показателе стекания меньше 0,2 % (рекомендуется от 0,15 до 0,2 %) из приготовленной смеси формируют два-три образца по ГОСТ 12801-98.

Сформованные образцы взвешивают на воздухе и в воде, после чего испытывают на водонасыщение. Определив среднюю и истинную плотность асфальтобетона и минеральной части, рассчитывают остаточную пористость в образцах и пористость минерального остова.

Если остаточная пористость не соответствует норме, то по полученным характеристикам вычисляют требуемое содержание битума B (% по массе):

$$A' = \frac{(V_{iid}^i - V_{iid}^i) \rho^a}{\rho_m^i}, \quad (2)$$

где V_{iid}^i - пористость минеральной части, %;

V_{iid}^i - требуемая остаточная пористость асфальтобетона, %;

ρ^a - истинная плотность битума, г/см³;

ρ_m^i - средняя плотность минеральной части, г/см³.

С рассчитанным количеством битума вновь готовят смесь, определяют показатель стекания вяжущего, формуют два или три образца и снова определяют остаточную пористость и водонасыщение асфальтобетона. Если они будут находиться в заданных пределах, то рассчитанное количество битума принимается за основу. В противном случае процедуру подбора содержания вяжущего, основанную на приближении к нормируемому объему пор стандартно уплотненного асфальтобетона, повторяют.

По последнему рецепту готовят большой замес смеси, достаточный для изготовления необходимого количества образцов, чтобы определить полный комплекс физико-механических свойств по ГОСТ 31015-2002. Если асфальтобетон из смеси подобранного состава не будет соответствовать требованиям проекта по каким-либо показателям свойств, то состав следует изменить.

Например, при неудовлетворительной прочности при 50 °С рекомендуется увеличить (в допустимых пределах) содержание минерального порошка или применить более вязкий битум; а при больших значениях предела прочности при 0 °С - наоборот, снизить содержание минерального порошка, уменьшить вязкость битума или применить полимерно-битумное вяжущее вместо битума.

В случае недостаточной величины коэффициента внутреннего трения следует увеличивать содержание крупных фракций щебня или содержание крупных дробленых зерен в песчаной части смеси.

Форма зерен применяемого щебня также оказывает существенное влияние на показатель внутреннего трения, который является основной характеристикой сдвигоустойчивости асфальтобетона в покрытии.

В случае недостаточной водостойкости рекомендуется увеличивать содержание известнякового минерального порошка (иногда и битума), но в пределах, обеспечивающих нормируемые значения остаточной пористости и пористости минеральной части асфальтобетона.

Для повышения водостойкости можно применять активаторы (известь, цемент), поверхностно-активные вещества (ПАВ) катионного типа и специальные активированные минеральные порошки. Пример влияния различных видов адгезионных добавок на повышение водостойкости ЩМА, приготовленного на гранитном щебне, показан на рис. 13.

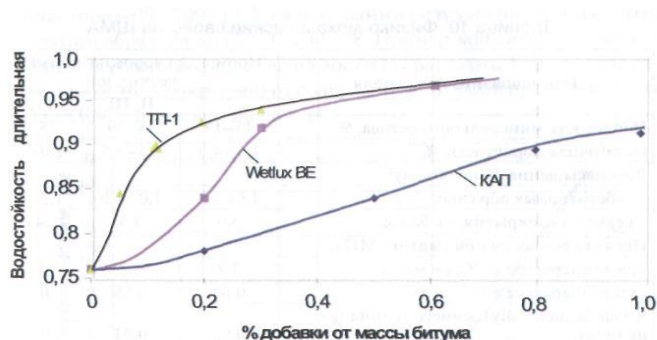


Рис. 13. Влияние трех видов адгезионных добавок на водостойкость ЩМА:

ТП-1 - Присадка адгезионная «Техпрогресс-1» по ТУ 0257-012-33452160-05;

Wetlux BE - жидкий продукт фирмы AKZO NOBEL;

КАП - катионная адгезионная присадка по ТУ 2484-008-22288198-97.

Основной этап подбора состава смеси можно считать завершенным, если все показатели свойств образцов ЩМА будут отвечать предъявляемым требованиям.

Нормы для зернового состава минеральной части ЩМА приведены в табл. 9, где обязательные требования по контрольным ситам выделены жирным шрифтом.

Смеси должны выдерживать испытание на сцепление вяжущего с поверхностью зерен минеральной части по ГОСТ 12801-98. Хорошо подобранная смесь не должна расслаиваться при перевозке, выгрузке и распределении асфальтоукладчиком. Показатель

стекания вяжущего при расчетной технологической температуре не должен превышать 0,2 %.

Нормируемые величины показателей физико-механических свойств ЩМА приведены в табл. 10

Таблица 10. Физико-механические свойства ЩМА

Наименование показателя	Нормы для дорожно-климатических зон		
	I	II, III	IV, V
Пористость минерального остова, %	15-19	15-19	15-19
Остаточная пористость, %	1,5-4,0	1,5-4,5	2,0-4,5
Водонасыщение, % по объему:			
в лабораторных образцах	1,0-3,5	1,0-4,0	1,5-4,0
в кернах из покрытия, не более	3,0	3,5	4,0
Предел прочности при сжатии, МПа,			
при температуре 20 °С, не менее	2,2	2,2	2,5
при температуре 50 °С, не менее	0,60	0,65	0,70
Коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg} \varphi$, не менее	0,92	0,93	0,94
Сцепление при сдвиге, МПа (50 °С, 50 мм/мин), не менее	0,16	0,18	0,20
Предел прочности на растяжение при расколе, МПа (0 °С, 50 мм/мин.)	2,0- 5,5	2,5- 6,0	3,0- 6,5
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,90	0,85	0,75
<i>Примечание:</i> При использовании полимерно-битумных вяжущих допускается снижение нормы сцепления при сдвиге и предела прочности на растяжение при расколе на 20 %.			

Для дорожных покрытий с интенсивным автомобильным движением состав ЩМА рекомендуется оптимизировать в рамках стандартных требований (табл.10), чтобы повысить долговечность и эксплуатационные свойства верхнего слоя.

Оптимизация производится, исходя из наиболее актуальных эксплуатационных свойств покрытия, например по водо- и морозостойкости, сдвигоустойчивости в конкретных условиях эксплуатации, усталостной и температурной трещиностойкости или по износостойкости. Причем для оценки эксплуатационных свойств ЩМА можно применять любые, включая нестандартные, методы испытаний, которые прошли апробацию в лаборатории.

Устойчивость ЩМА к образованию колеи пластичности в конкретных условиях эксплуатации наиболее просто определяется по СТО-ГК «Трансстрой»-007-2007 [27], на основании результатов стандартных испытаний образцов по ГОСТ 12801-98.

Пример зависимости прогнозируемой глубины колеи пластичности (за расчетный срок эксплуатации дорожного покрытия) от содержания битума в проектируемом составе ЩМА приведен на рис. 14.



Рис. 14. Влияние содержания битума на расчетную глубину колеи в покрытии из ЩМА

Зависимость показателя трещиностойкости (предельной относительной деформации растяжения при изгибе) от содержания битума в ЩМА того же зернового состава показана на рис. 15.

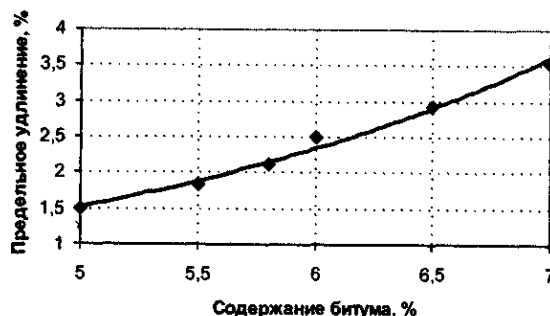


Рис. 15. Влияние содержания битума на предельное относительное удлинение ЩМА при 0 °С

Из представленных графиков следует, что при увеличении содержания битума показатель сдвигоустойчивости ЩМА ухудшается, а показатель трещиностойкости, наоборот, улучшается. Анализируя данные на рисунках 14 и 15, можно заключить, что оптимальное содержание битума в запроектированном составе ЩМА должно находиться в пределах 6,5-6,7 %.

Современные направления в области проектирования ЩМА базируются на повышении точности прогнозирования его долговечности в дорожных покрытиях в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

От условных методов лабораторных испытаний переходят к методам оценки эксплуатационных свойств асфальтобетона, учитывающим реальные условия нагружения покрытия. Под эти методы испытаний разрабатываются специальные компьютерные программы, которые призваны прогнозировать работоспособность материала с учетом комплексного воздействия на покрытие дорожно-климатических факторов. Чем точнее будут учтены условия работы асфальтобетона в покрытии и чем глубже раскрыты закономерности его деформирования и разрушения, тем более надежный состав смеси может быть запроектирован применительно к конкретным условиям эксплуатации.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ЩМА

2.1. Приготовление смеси

Горячие щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси (ЩМАС) изготавливаются на обычных асфальтобетонных заводах, оборудованных смесителями принудительного перемешивания, путем смешения в нагретом состоянии щебня, песка из отсевов дробления, минерального порошка, битума или полимерно-битумного вяжущего с добавлением стабилизирующих добавок.

По имеющимся данным, проблемы при изготовлении ЩМАС практически не возникают [28]. Необходимо только обеспечить дополнительное дозирование и ввод стабилизирующей добавки в приготавливаемую смесь, оборудовав соответствующими устройствами асфальтосмесительную установку.

В процессе приготовления щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси важно как можно более точно выдерживать проектный состав, подобранный в лаборатории.

Погрешность дозирования компонентов не должна превышать:

для щебня $\pm 2\%$, для минерального порошка и битума $\pm 1,5\%$, для добавки волокон $\pm 2,5\%$ от массы соответствующего компонента [29].

Стабилизирующую добавку вводят, как правило, в минеральную часть смеси перед объединением ее с битумом. Добавка помогает исключить отслоение и стекание вяжущего при хранении и транспортировании горячей смеси, а также улучшает однородность и физико-механические свойства ЩМА. Добавление стабилизатора в смесь может производиться даже вручную, однако желательно это делать с помощью специальных систем дозирования.

В России первые опытные партии щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей приготавливали с гранулированной целлюлозной добавкой VIATOR-66 в смесительных установках периодического действия фирм AMMANN и TELTOMAT (Германия) производительностью 300 и 100 т/час соответственно [27].

Первоначально гранулированную добавку дозировали в замес асфальтовой смесительной установки вручную. Для этого ее расфасовывали в мешки или в ведра в количестве, необходимом для приготовления одного замеса в смесителе. Корректировку содержания добавки проводили путем изменения массы замеса в пределах производительности асфальтосмесительной установки.

В дальнейшем с целью уменьшения вероятности ошибки и снижения трудоемкости работ требуемое количество стабилизирующей добавки (3,0-5,0 кг на 1 тонну смеси) стали дозировать с допустимой погрешностью, используя специальные дозирующие системы объемного или весового типа (рис.16) [28].

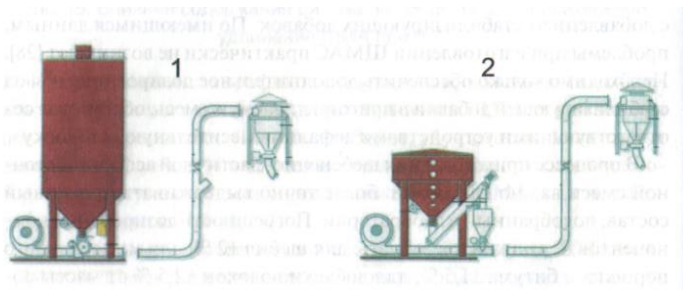


Рис. 16. Дозирующие устройства объемного (1) и весового (2) типов

При использовании системы объемного дозирования стабилизирующая добавка из контейнера или силосной башни вместимостью 3-4 м³ через роторное дозирующее уст-

ройство поступает в пневматический конвейер и по трубопроводу диаметром 150 мм подается в циклон с встроенной загрузочной воронкой и датчиком наличия материала. Далее добавка через автоматический клапан выпускного отверстия попадает в трубопровод подачи материала в смеситель.

Система весового дозирования отличается от объемного дозатора только тем, что добавка из контейнера или силосной башни с помощью шнекового конвейера вначале подается в весовой бункер, где дозируется, а уже затем поступает в трубопровод пневматического конвейера. Дальнейшая схема прохождения материала такая же, как и в системе объемного дозирования.

В обеих системах дозирования в нижней части контейнера или силосной башни монтируется датчик контроля прохождения материала, который при его отсутствии автоматически включает вибратор, установленный на нижней наклонной стенке контейнера или силосной башни. Вибратор побуждает добавку перемещаться в контейнере или силосной башне в случае ее зависания.

Гранулированную добавку стабилизатора можно подавать в асфальтовый смеситель по линии возврата сухой пыли улавливания. Подобная схема дозирования гранулированной добавки VIATOR-66, представленная на рис. 17, была реализована на асфальтосмесительной установке TELTOMAT-100 в ГП «Ногинский Автодор».

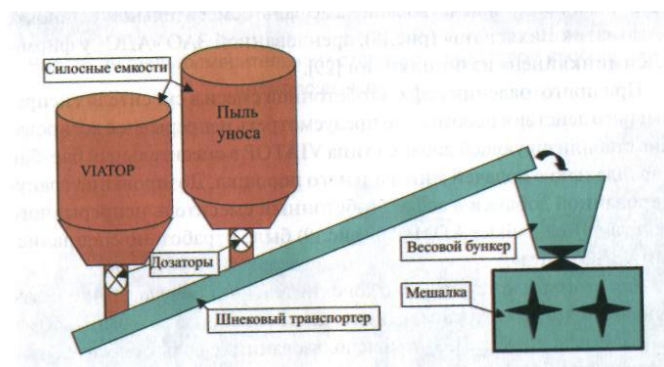


Рис. 17. Схема дозирования гранулированной добавки совместно с пылью уноса

Еще одним вариантом дозирования стабилизатора является использование линии подачи в смеситель крошки старого асфальтобетона, являющейся штатным оборудованием на современных смесительных установках.

Этот вариант был принят за основу на смесительной установке TELTOMAT производительностью 240 т/час на АБЗ «Бетас» и на смесительной установке BENNINGHOVEN на АБЗ «Трансстромсервис» (г. Москва).

Если для приготовления смеси предусматривается использование волокон целлюлозы, не спрессованных в гранулы, то система подачи и дозирования этой добавки в асфальтобетонный смеситель должна быть иной. В этом случае свободные волокна целлюлозы после соответствующей механической распушки в приемном бункере обычно вдувают с помощью компрессора непосредственно в смесительную камеру, при этом дозирование их в смеситель циклического действия осуществляется в установленное время вслед за подачей минерального порошка.

Компьютерная программа управления процессом приготовления смеси должна обеспечивать требуемую точность дозирования волокон в смеситель перед подачей битума или вместе с ним. Такая технология была задействована на асфальтосмесительной установке «Амоматик Вихясиата» (рис.18), арендованной ЗАО «АДС» у фирмы «Лемминкяйнен» из Финляндии [29].

При приготовлении асфальтобетонной смеси в смесителях непрерывного действия необходимо предусмотреть непрерывное дозирование стабилизирующей добавки типа VIATOR в смесительный барабан параллельно с подачей минерального порошка.

Дозирование гранулированной добавки в асфальтобетонный смеситель непрерывного действия Roadbuilder ADM-160 (рис.19) было отработано специалистами ЗАО «Труд».

Для этого было установлено дополнительное оборудование и изменена технология запуска завода и подачи составляющих компонентов.

Как отмечено в работе [33], при использовании асфальтосмесительной установки АДМ-160 общее время прохождения материалов через сушильно-смесительный агрегат составляет порядка 8-9 мин., причем подача битума производится во второй половине барабана, поэтому время его объединения с минеральной частью составляет около трех мин. Минеральный порошок подается в смесь двумя частями. Основная часть после предварительного объединения в смесительном конусе с битумом подается в составе асфальтового вяжущего (битум + порошок) на просушенные и нагретые минеральные материалы в нижней части смесительного агрегата.

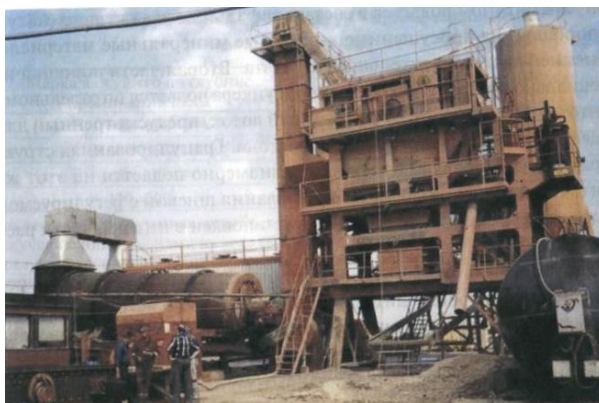


Рис. 18. Асфальтосмесительная установка с дозатором свободных целлюлозных волокон



Рис. 19. Асфальтосмеситель непрерывного действия ADM-160

Вторая часть порошка из специально построенного силосного бункера подается по отдельному ленточному транспортеру в приемный лоток, предусмотренный для введения в смесь старого асфальтобетона.

Гранулированная структурирующая добавка целлюлозы равномерно подается на этот же ленточный транспортер после дозирования шнеком с регулируемой скоростью вращения, который был установлен в нижней части расходного бункера.

Запуск асфальтосмесительной установки и выход на рабочий режим смешения производится поэтапно.

Только по истечении 5 мин. с момента штатного включения в работу всех узлов и агрегатов установки последовательно включается дополнительная подача второй части минерального порошка по закрытому ленточному транспортеру и дозирующее устройство гранулированной добавки целлюлозы.

Равномерная скорость вращения сушильно-смесительного барабана при приготовлении смеси является одним из критериев выбора оптимальной производительности асфальтосмесительной установки непрерывного действия.

Особенностью щебеночно-мастичной смеси является, в частности, более высокая по сравнению с обычными горячими асфальтобетонными смесями температура применения, что отражено в ГОСТ 31015-2002. Это связано, с одной стороны, с изменением реологических свойств по температурной чувствительности, а с другой - с тем, что смесь укладывается, как правило, более тонкими слоями, поэтому склонна к быстрому охлаждению.

Температура смесей ЩМА при выпуске из смесителя и отгрузке потребителю должна соответствовать требованиям, указанным в табл. 11.

При низких температурах окружающей среды и основания, на которое производится укладка ЩМА, бывает целесообразно температуру смеси на выходе из смесителя держать близкой к 180 °С, однако при этом следует убедиться, что битумное вяжущее не будет чрезмерно стареть.

Таблица 11. Требования к температуре ЩМАС в зависимости от марки битума

Марка вяжущего по глубине проникания иглы	Температура смеси при выпуске из смесителя, °С
40-60	160-175 (180)
60-90	155-170 (175)
90-130	150-165 (170)
130-200	140-160 (165)
<i>Примечание.</i> Приведенная в скобках температура смеси может быть назначена в случае технико-экономического обоснования с учетом показателей старения и результатов научно-технического сопровождения строительства дорожных покрытий.	

Технологический процесс приготовления смеси в смесителях периодического действия включает следующие основные операции:

- подготовку минеральных материалов (подача и предварительное дозирование, высушивание и нагрев до требуемой температуры) и пофракционное дозирование их в смеситель;
- подачу холодных минерального порошка и стабилизирующей добавки через дозатор в смеситель;
- подготовку битума (разогрев и подача при необходимости из битумохранилища в битумоплавильню, выпаривание содержащейся в нем влаги и нагрев до рабочей температуры, в необходимых случаях введение поверхностно-активных веществ и других улучшающих добавок, дозирование перед подачей в смеситель);
- «сухое» перемешивание горячих минеральных материалов с холодным минеральным порошком и стабилизирующей добавкой;
- перемешивание минеральных материалов с битумом и выгрузку готовой асфальтобетонной смеси в накопительный бункер или автомобили-самосвалы.

Технологический процесс приготовления смеси в смесителях непрерывного действия предусматривает дозирование холодных минеральных материалов, а их нагрев и перемешивание с битумом и стабилизирующей добавкой происходят в одном сушильно-смесительном барабане.

Щебень и песок необходимо складировать отдельно на площадке с укрепленным основанием, имеющим хороший водоотвод.

На площадке складирования материалов должны быть разделительные стены высотой не менее 3 м для исключения перемешивания щебня различных фракций и песка между собой. Фракционированный щебень и песок из отсева дробления подают от места скла-

дирования к агрегату питания фронтальными погрузчиками или ленточными транспортерами.

Агрегаты питания оборудуют весовыми или объемными дозаторами для предварительного дозирования холодных и влажных минеральных материалов. Из агрегатов питания они поступают в барабан сушильного агрегата, где просушиваются и нагреваются до соответствующей температуры.

Температура нагрева смеси песка и щебня должна быть примерно на 25-30 °С выше требуемой температуры готовой асфальтобетонной смеси, приведенной в табл. 11.

По сравнению с приготовлением традиционных асфальтобетонных смесей для плотного асфальтобетона нагрев минеральных материалов в сушильном барабане рекомендуется повышать примерно на 10-20 °С.

Если минеральные материалы перед поступлением в сушильный барабан имеют высокую влажность, то их высушивание и нагрев следует осуществлять не за счет увеличения подачи топлива в форсунку, а за счет уменьшения количества влажных материалов в сушильном агрегате. При применении поверхностно-активных веществ или активированных минеральных порошков температура нагрева минеральных материалов может быть снижена на 10-20 °С.

Нагретые щебень и песок подаются из сушильного барабана в сортировочно-дозировующее устройство, где горячий минеральный материал с помощью системы виброгрохотов разделяется по фракциям, которые затем размещаются в отдельных отсеках.

Из бункеров, в которых накапливаются горячие материалы, они поступают в весовой бункер-дозатор. Дозирование фракционированных горячих материалов осуществляется по весу.

Минеральный порошок дозируется в холодном состоянии с помощью общего весового дозатора или отдельных весов с более высокой точностью взвешивания.

Содержание фракционированных горячих материалов в смеси назначают, исходя из проектного зернового состава, подобранного в лаборатории. Для перевода проектного зернового состава минеральной части к квадратной форме отверстий сит виброгрохота можно использовать следующую таблицу.

Таблица 12. Соответствие применяемых отверстий решеток грохотов

Размеры отверстий сит, мм	
Круглые, D_r	Квадратные, D_{kv}
40,0	31,5
35,0	28,0
30,0	24,0
25,0	20,0
20,0	16,0
15,0	12,0
10,0	8,0
5,0	4,0

При математических расчетах рецепта смеси на замес конкретной асфальтосмесительной установки для соотношения размеров квадратных и круглых сит можно применять следующую корреляционную зависимость:

$$D_k = 0,7917D_r + 0,125 \quad (3)$$

Полные проходы зерен минерального материала через сита с квадратными ячейками заданного размера можно установить графически и методом интерполяции с помощью следующей зависимости:

$$M_i = M_{i-1} + (M_{i+1} - M_{i-1}) \cdot \frac{(A_i - A_{i-1})}{(A_{i+1} - A_{i-1})}, \quad (4)$$

$$\text{где } A = (D_k)^{2/3}. \quad (5)$$

Окончательное содержание дозируемых фракций минерального материала следует уточнять по результатам рассева пробного сухого замеса смеси, полученного в смесительной установке. Циклонную пыль из системы пылеулавливания допускается подавать в смесительную камеру в соответствующем объеме вместо части минерального порошка.

Стабилизирующую гранулированную добавку рекомендуется вводить в мешалку современной асфальтосмесительной установки на разогретый каменный материал перед подачей или вместе с минеральным порошком, предусматривая «сухое» перемешивание в смесителях циклического действия в течение 15-20 сек.

Для гранулированных стабилизаторов семейства VIATOR дополнительного времени «сухого» смешивания не требуется. При последующем «мокром» перемешивании смеси с битумом в течение 10-20 сек. стабилизирующая добавка должна равномерно распределиться в объеме асфальтового вяжущего вещества.

Продолжительность перемешивания смеси определяется техническими параметрами смесительной установки, степенью изношенности лопастей мешалки и, в конечном итоге, должна обеспечить равномерное распределение всех компонентов, включая волокна и полное обволакивание дискретных зерен минерального материала стабилизированным битумным вяжущим.

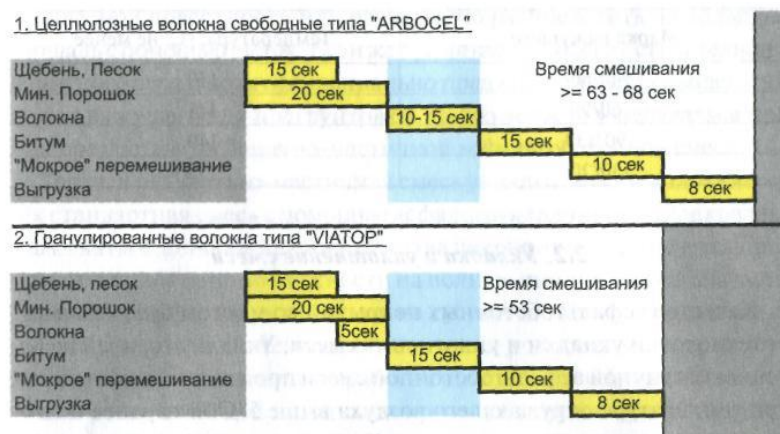
Ориентировочное время перемешивания смеси в зависимости от вида применяемой стабилизирующей добавки приведено в табл. 13.

Приготовленную асфальтобетонную смесь из смесителя выгружают в скиповый подъемник с последующим перемещением в накопительный бункер или непосредственно в кузов автомобиля-самосвала для дальнейшей транспортировки к месту укладки.

Использование накопительного бункера в качестве временного склада хранения горячих асфальтобетонных смесей позволяет обеспечивать ритмичность выпуска смеси независимо от наличия транспортных средств, изменения режимов укладки и погодных условий, а также сократить время загрузки автомобилей и повысить производительность АБЗ.

Время хранения щебеночно-мастичной смеси в обычном накопительном бункере рекомендуется ограничивать условиями ее охлаждения, но не более 2 часов.

Таблица 13. Ориентировочный цикл приготовления ЩМАС



По внешнему виду ЩМАС не проявляют признаков сегрегации. Тем не менее, рекомендуется загружать их порционно по длине кузова автомобиля, как это принято при загрузке обычных асфальтобетонных смесей. В зависимости от его грузоподъемности и длины кузова может быть от 2 до 4 порций загрузки.

Кузова автомобилей должны быть чистыми. Перед погрузкой их нужно обрабатывать специальными составами, предотвращающими прилипание смеси к днищу, например, мыльным раствором, масляной или керосиновой эмульсией, кремнийорганической жидкостью и т.п.

Асфальтобетонная смесь, загруженная в автомобили-самосвалы, должна закрываться на период транспортирования защитными тентами. Дальность транспортирования смеси зависит от ее термоизоляции и условий охлаждения. В момент выгрузки в бункер асфальтоукладчика температура смеси должна быть не ниже температуры, указанной в табл. 14.

Количество автомобилей должно быть достаточным для обеспечения непрерывной укладки смеси заданным темпом, согласованным с производительностью асфальтобетонного завода.

Таблица 14. Температура ЩМАС при укладке

Марка вяжущего	Температура, °С, не менее
40/60	150
60/90	145
90/130	140
130/200	135

2.2. Укладка и уплотнение смеси

Качество асфальтобетонных покрытий во многом будет зависеть от технологии укладки и уплотнения смеси.

Укладку горячей щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси производят, как правило, при температуре окружающего воздуха выше 5 °С на заранее подготовленную поверхность основания. Конструктивный слой дорожной одежды, на который предстоит укладывать асфальтобетонную смесь, должен быть построен в соответствии с действующими нормами.

При необходимости проводят ямочный ремонт, разделку и гидроизоляцию трещин старого асфальтобетонного покрытия, фрезерование поверхности под проектную отметку или устраивают выравнивающий слой из асфальтобетонной смеси.

Чтобы обеспечить хорошее сцепление укладываемого слоя с основанием, поверхность последнего очищают от пыли и грязи механическими щетками, сжатым воздухом от передвижного компрессора или другими средствами, после чего обрабатывают органическим вяжущим: битумной эмульсией или битумом.

Битумное вяжущее перед нанесением на поверхность должно быть нагрето до рабочих температур и как можно менее вязким.

Подгрунтовку наносят на обрабатываемую поверхность автогудронатором с расходом битума в пределах 0,2-0,3 л/м².

Если старое асфальтобетонное покрытие было подвергнуто фрезерованию, то на поверхность требуется нанести примерно в 1,5 раза большее количество битумной эмульсии. Однако нельзя допускать перерасхода битума в связующем слое подгрунтовки и неравномерности его нанесения по площади основания.

Пролитый и «лишний» битум необходимо удалить с обрабатываемой поверхности или равномерно распределить на большую площадь с помощью щеток.

Если же принятая технология строительства защитного слоя покрытия специально предусматривает повышенный расход вяжущего для подгрунтовки, то это должно учитываться при подборе состава щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси.

Горячая щебеночно-мастичная смесь укладывается и уплотняется как стандартная смесь с помощью асфальтоукладчиков и гладковальцовых катков.

Для повышения качества покрытия рекомендуется производить укладку, по возможности, на полную ширину проезжей части с помощью асфальтоукладчиков на гусеничном ходу, оснащенных автоматическими системами обеспечения ровности и поперечного уклона.

Число одновременно работающих укладчиков назначается в зависимости от общей ширины покрытия и ширины уплотняющих рабочих органов. Например, укладку верхнего слоя покрытия из ЩМА на автодороге МКАД-Кашира осуществляли сразу на всю ширину проезжей части 13,6 м тремя гусеничными асфальтоукладчиками моделей «Супер-1800» и «Супер-2500» фирмы Vögele (Германия).

Асфальтоукладчики во время работы располагаются уступом (рис. 20). Расстояние между ними назначается в пределах 10-30 метров в зависимости от погодных условий и соблюдения мер безопасности.



Рис. 20. Укладка смеси на полную ширину проезжей части

Укладка ЩМАС одним широкозахватным асфальтоукладчиком производилась на автомобильных дорогах «Москва - Санкт-Петербург» и «Киев - Чоп». На рис. 21 показана укладка смеси одним гусеничным асфальтоукладчиком модели «Супер-2500» фирмы Vögele на ширину 11 м на дороге «Киев - Чоп», 32-35 км.



Рис. 21. Укладка смеси широкозахватным асфальтоукладчиком

Автоматическая система выдерживания ровности асфальтоукладчика должна работать от копирной струны, датчика поперечного уклона, опорного башмака или от длинной копирной лыжи в зависимости от утвержденного технологического регламента укладки ЩМА.

Перед началом укладки асфальтоукладчики должны быть установлены в исходное положение и подготовлены к работе в соответствии с инструкцией их эксплуатации:

- выглаживающая плита укладчика устанавливается на деревянные брусочки (стартовые колодки) параллельно основанию на высоту проектной толщины слоя и дополнительного зазора на уплотнение, который составляет примерно 10-15 % от проектной толщины слоя, после чего прогревается до температуры 150 °С в течение 10-20 мин. в зависимости от погодных условий;
- задается угол атаки выглаживающей плите 2-3 градуса;
- настраивается автоматическая система обеспечения ровности и поперечного уклона;
- проверяется соответствие длины и высотного положения распределительного шнека укладчика геометрическим размерам укладываемого слоя ЦМА (расстояние от нижнего уровня лопастей шнека до поверхности основания должно составлять примерно полторы толщины слоя);
- настраиваются датчики подачи смеси, поддерживающие определенный объем материала на концах шнекового распределителя;
- устанавливаются режимы работы трамбующего бруса и виброплиты: ход трамбующего бруса должен быть в пределах 5-6 мм, частота ударов около 1000 мин⁻¹), частота вибрации виброплиты в случае необходимости - около 40 Гц. Вибрацию следует включать только в крайних случаях и при толщине устраиваемого слоя не меньше, чем трехкратный размер зерен щебня в смеси.

После прохода исправного асфальтоукладчика на поверхности уложенного слоя ЦМА, как правило, не образуются трещины, раковины, разрывы сплошности и другие дефекты. Тем не менее, возможные дефекты можно исправить вручную до начала или в процессе уплотнения слоя катками путем добавления и разравнивания горячей смеси. При этом следует иметь в виду, что смесь ЦМА гораздо более липкая, чем традиционные смеси для плотного асфальтобетона, поэтому для ручных работ она слишком «тяжелая».

Для получения ровной поверхности слоя важно обеспечивать непрерывность укладки щебеночно-мастичной смеси. Скорость укладки рекомендуется не менее чем 2,0-3,0 м/мин., что обеспечивается производительностью АБЗ и ритмичностью поставок смеси к асфальтоукладчику.

Автомобили-самосвалы с горячей смесью должны ожидать асфальтоукладчик достаточно далеко впереди, чтобы не мешать работе, но и достаточно близко, чтобы успеть подъехать задним ходом к непрерывно двигающемуся асфальтоукладчику и остановиться за 30-60 см до упорных роликов.

Смесь постепенно загружают в бункер движущегося асфальтоукладчика, который толкает упорами снятый с тормозов автомобиль-самосвал с поднятым кузовом (рис. 22).



Рис. 22. Загрузка ЦМАС в бункера асфальтоукладчиков

Смесь должна как можно более равномерно поступать из кузова самосвала в бункер укладчика. При этом нужно следить за тем, чтобы она не просыпалась мимо. Если это произойдет, то ее следует немедленно убрать лопатами с мест прохода гусениц. Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь должна равномерно доставляться ко всем одновременно работающим укладчикам, чтобы обеспечить постоянную скорость укладки.

Если пластинчатые питатели укладчика снабжены регулируемыми заслонками, то они должны быть настроены для равномерной подачи смеси в шнековую камеру. Смесь должна заполнять шнековую камеру на уровне или немного выше оси вала шнека (рис. 23).

Если система подачи смеси отрегулирована правильно и функционирует нормально, то пластинчатые контейнеры и шнеки с каждой стороны укладчика будут простаивать редко. Непрерывная подача материала обеспечивает постоянный уровень смеси перед свободноплавающей выравнивающей плитой и является одним из условий получения ровной поверхности покрытия.



Рис. 23. Распределение смеси в шнековой камере асфальтоукладчика

При непродолжительных перерывах в доставке смеси ее не следует полностью выработывать из бункера асфальтоукладчика. Бункер всегда должен быть заполнен не менее чем на 25 %.

В случае вынужденной остановки асфальтоукладчика на 15-20 мин. оставшуюся смесь из бункера необходимо переместить в шнековую камеру, учитывая, что смеси ЩМА при охлаждении затвердевают заметно быстрее, чем обычные. При продолжительных перерывах следует израсходовать всю смесь, находящуюся в бункере, в шнековой камере и под плитой асфальтоукладчика. В этом случае при возобновлении работ необходимо устраивать рабочий шов.

Устройству «холодных» продольных и поперечных стыков при сопряжении укладываемых полос необходимо уделять повышенное внимание.

Поперечные сопряжения должны быть перпендикулярны оси дороги. Края ранее уложенной полосы обрубает вертикально и смазывают битумом или битумной эмульсией.

Холодный поперечный стык необходимо прогреть, установить укладчик таким образом, чтобы прогретая выравнивающая плита находилась над краем ранее уложенного слоя покрытия, затем наполнить шнековую камеру горячей смесью.

При работе одного укладчика длина полосы укладки, позволяющая легко обеспечивать хорошее сопряжение смежных полос, назначается в зависимости от скорости охлаждения слоя, обычно в пределах от 50 до 200 м.

При укладке горячей смеси сопряженными полосами работу организуют так, чтобы в конце смены был уложен слой на всю ширину покрытия.

При сопряжении горячего слоя с краем остывшего покрытия целесообразно применять линейные инфракрасные разогреватели.

Внутренний край бокового щита шнековой камеры необходимо выставить таким образом, чтобы по вертикали он являлся как бы продолжением края остывшего покрытия.

В случае невозможности соблюдения данного условия необходимо укладку горячего слоя производить с небольшим (3-5 см) напуском на край остывшего покрытия с последующим сдвиганием деревянными скребками «лишней» смеси с холодного слоя на уплотняемый свежеложенный слой по всей границе сопряжения.

Уложенный слой следует начинать уплотнять сразу же за асфальтоукладчиком, пока смесь достаточно горячая и подвижная. Для уплотнения ЩМА наиболее пригодны гладковальцовые катки весом 8-10 т, которые двигаются короткими захватками со скоростью 5-6 км/час, приближаясь как можно ближе к асфальтоукладчику (рис. 24).

Стальные вальцы катков смачиваются в процессе укатки мыльным раствором, водно-керсиновой эмульсией или обычной водой.

Обильное орошение вальцов катка недопустимо, так как приводит к ускоренному охлаждению уплотняемого слоя.

В связи с тем, что рассматриваемые смеси намного более липкие, чем обычные смеси для плотного асфальтобетона, необходимо обеспечивать равномерное орошение вальцов катков жидкостью. Когда поверхность вальца смачивается не полностью, возможно налипание на нее смеси. При этом на поверхности укатываемого покрытия появляются дефекты в виде лунок в результате отрыва щебня. Эти дефекты нужно ликвидировать путем добавления и разравнивания горячей смеси перед проходом катка.



Рис. 24. Устройство покрытия из ЩМА

Катки на пневматических шинах применять не рекомендуется, так как при высоких температурах возможно налипание объемного битума к резиновым шинам [34]. Их использование целесообразно только при условии применения дополнительной технологической операции россыпи каменной мелочи по горячему слою ЩМА.

При укладке слоя не на всю ширину покрытия технологические захватки должны соответствовать применяемой технике и обеспечивать минимальную протяженность «холодных» продольных и поперечных стыков полос укладки.

Качеству устройства стыков необходимо уделять особое внимание, т.к. в процессе эксплуатации асфальтобетонных покрытий наиболее часто разрушаются места сопряжения горячего слоя с холодной полосой укладки. При устройстве поперечных сопряжений и продольных «холодных» стыков, уплотнение следует начинать с них.

Существует несколько способов уплотнения продольного «холодного» стыка. По сложившимся представлениям наилучшие показатели достигаются тогда, когда каток осуществляет первый проход по горячему слою на расстоянии 15 см до края ранее уложенной холодной полосы. При следующем проходе валец катка располагается точно по месту «холодного» стыка.

Также распространена такая схема уплотнения, при которой каток осуществляет первый проход по стыку, перекрывая холодную полосу на ширину 20-30 см.

Перед катком в непосредственной близости от асфальтоукладчика должен постоянно находиться рабочий и сдвигать лишнюю смесь с холодной полосы на уплотняемый свежеложенный слой покрытия, как это показано на рис. 25.

В процессе уплотнения катки должны двигаться по укатываемой полосе челночно от ее краев к оси дороги, а затем от оси к краям, перекрывая каждый след на 20-30 см.

Первый проход катка лучше начинать, отступив от края покрытия на 10 см. Края уплотняются после первого прохода катка. Схема укатки должна обеспечивать равномерное уплотнение по всей ширине укатываемого полотна, что достигается одинаковым числом проходов катков по одному следу.

В случае устройства покрытия сопряженными полосами при уплотнении первой полосы рекомендуется следить за тем, чтобы вальцы катка находились на расстоянии не менее 10 см от кромки сопряжения. При уплотнении второй полосы первые проходы катка должны выполняться по продольному сопряжению с ранее уложенной полосой.

При температуре щебеночно-мастичной смеси ниже 100 °С, при укладке смеси на жесткое основание, а также при устройстве тонких слоев уплотнять их катками с вибрацией запрещается.

Допускается уплотнять ЩМА с вибрацией при низких температурах воздуха и желательно после первого прохода гладковальцового катка в статическом режиме.

Для эффективного уплотнения достаточно 1-2 проходов вибрационного катка по одному следу.



Рис. 25. Укладка ЩМА одним асфальтоукладчиком

Очень важно осуществлять быстрое уплотнение ЩМА при температурах выше 100-120 °С, особенно при устройстве тонких слоев покрытий из-за их ускоренного охлаждения. Поэтому количество уплотняющей техники должно быть достаточным и назначаться в зависимости от условий укладки.

За одним асфальтоукладчиком, как правило, должны следовать два гладковальцовых катка статического действия. Требуемая степень уплотнения слоя ЩМА обычно достигается при среднем количестве проходов катков по одному следу от 4 до 6.

Оптимальное количество проходов катков рекомендуется уточнить при пробной укатке смеси на опытном участке. Лишние проходы катков также нежелательны, так как могут привести к дроблению щебня [31] и появлению локальных битумных пятен на поверхности покрытия.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА

Требуемые эксплуатационные свойства и долговечность устраиваемых дорожных покрытий могут обеспечиваться только при четком соблюдении всех норм и правил производства работ, предусмотренных в проектах и технологических регламентах.

Постоянный контроль качества применяемых материалов и выполняемых работ является обязательным при строительстве покрытий из ЩМА.

3.1. Контроль приготовления смеси

При приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси контролируют: качество всех компонентов, температурный режим подготовки битума, температуру нагрева минеральных материалов, температуру, качество и однородность смеси.

Работу дозаторов минеральных материалов, битума и стабилизирующей добавки контролируют в установленном порядке, руководствуясь инструкциями по эксплуатации соответствующего оборудования.

При входном контроле определяют качество поступающих на АБЗ материалов в каждой партии по соответствующим паспортам, техническим свидетельствам и стандартам.

Операционный контроль при выпуске ЩМАС включает контроль параметров технологического процесса (температуры, времени операций, состояния контрольно-измерительных приборов и т.д.) и лабораторный контроль физико-механических показателей качества материалов. Операционный контроль осуществляют не реже 1 раза в 10 смен, определяя следующие показатели:

- зерновой состав щебня, песка из отсева дробления и минерального порошка;
- содержание пылевидных и глинистых частиц для щебня и песка;
- влажность неактивированного минерального порошка;
- гидрофобность активированного минерального порошка;

Пробы материалов для проведения испытаний отбирают со склада.

Контроль качества битума включает определение глубины проникания иглы при 25 °С и температуры размягчения по методу «Кольцо и шар». Для проведения испытаний отбирают пробы битума из каждого рабочего котла один раз в смену.

В процессе приготовления асфальтобетонных смесей постоянно контролируют температуру нагрева исходных материалов и готовой смеси.

Показатели снимают с приборов, фиксирующих указанные параметры, а при их отсутствии производят измерения с помощью термометров.

Кроме того, следует контролировать установленное в технологическом регламенте время перемешивания ЩМАС в соответствии с циклограммой (табл. 13).

При приемочном контроле качества готовой щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси контролируют температуру смеси непосредственно после выпуска ее из смесителя.

В том случае, когда асфальтосмесительная установка оборудована бункером-накопителем, температуру смеси измеряют после ее выгрузки из бункера в кузов автомобиля.

При приемочном и периодическом контроле качества должны определяться показатели физико-механических свойств ЩМА, регламентируемые ГОСТ 31015-2002.

Один раз в смену контролируют устойчивость смеси к расслаиванию по показателю стекания вяжущего, состав смеси, водонасыщение и предел прочности при сжатии при температуре 50 °С.

Не реже одного раза в месяц и при каждом изменении материалов, используемых для приготовления смеси, определяют пористость минеральной части и остаточную пористость асфальтобетона, предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, водостойкость при длительном водонасыщении, коэффициент внутреннего трения и сцепление при сдвиге при температуре 50 °С, предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С, сцепление битума с минеральной частью смеси.

На рис. 26 изображен эпизод лабораторного испытания асфальтобетона на сдвигоустойчивость по ГОСТ 12801-98.

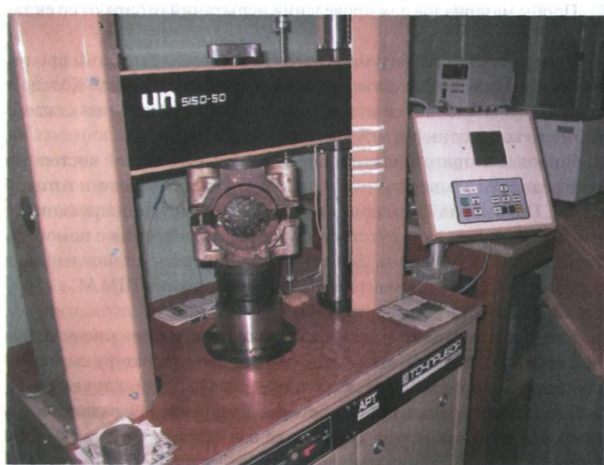


Рис. 26. Испытание ЩМА на сдвигоустойчивость

При отработке состава смеси и технологии ее приготовления на первом этапе следует отбирать по одной объединенной пробе от каждых 300 тонн и определять все показатели свойств, указанные для приемочного контроля. Объединенная проба составляется не менее чем из шести точечных проб и усредняется методом квартования.

После окончательной отработки состава и технологии приготовления смеси партией можно считать количество смеси одного состава, выпускаемой на одной асфальтосмесительной установке в течение смены, но не более 1200 тонн. При изменении состава смеси для испытаний необходимо отбирать дополнительные пробы.

Если в результате приемочного контроля выявлено несоответствие показателей свойств ЩМА требованиям стандарта или значительное расхождение их с проектными показателями, то необходимо проверить свойства всех исходных материалов, состав смеси, технологический процесс приготовления, после чего произвести корректировку состава или ввести изменения в технологический режим приготовления смеси.

Однородность щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси оценивается коэффициентом вариации предела прочности при сжатии при температуре 50° С.

Коэффициент вариации рассчитывается по данным лабораторного журнала на основе показателей прочности не менее чем 20-ти испытанных проб и характеризует однородность выпускаемой смеси на конкретной смесительной установке за рассматриваемый период времени.

При коэффициенте вариации более 0,18 необходимо установить причину разброса результатов испытаний и произвести корректирующие действия по повышению однородности смеси.

Все изменения должны быть зафиксированы в лабораторном журнале для последующего определения потенциально «опасных точек» на АБЗ и разработки плана мероприятий по повышению качества выпускаемой ЩМАС.

3.2. Контроль устройства покрытий

Перед устройством покрытия из ЩМА должны быть приняты и оформлены актами освидетельствования все подготовительные работы на нижележащем слое (фрезерование, устройство выравнивающего слоя, очистка, подгрунтовка).

В процессе устройства покрытия должны контролироваться:

- температура смеси в кузове каждого автомобиля-самосвала;
- толщина слоя примерно через 100 м (на мостах, путепроводах и развязках через 50 м);
- ровность и поперечные уклоны примерно через 100 м;
- ширина слоя через 100 м (на мостах, путепроводах и развязках через 50 м);
- качество устройства продольных и поперечных сопряжений уложенных полос;
- соблюдение требуемых режимов работы асфальтоукладчиков и катков;
- качество ЩМА в покрытии и сцепление его с нижележащим слоем.

Температура смеси в кузове самосвала измеряется термометром и должна быть в пределах 150-170 °С. Температура смеси за выравнивающей плитой асфальтоукладчика должна быть не ниже 140 °С.

Толщина уложенного слоя за асфальтоукладчиком контролируется с помощью металлического щупа. Толщина уплотненного слоя измеряется по отобранным из покрытия кернам с помощью штангенциркуля или линейки (рис. 27).

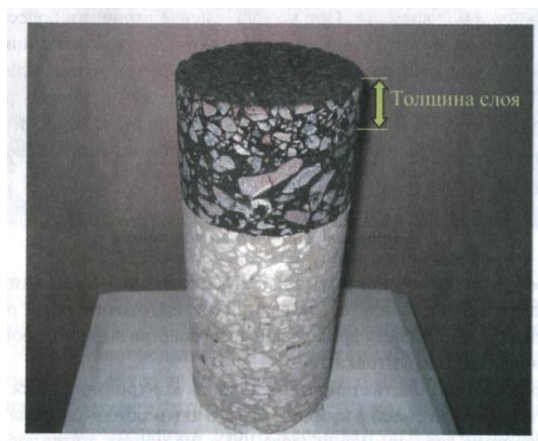


Рис. 27. Определение толщины слоя ЩМА в керне

По опыту строительства покрытий из ЩМА допускается не более 10 % результатов замеров с отклонениями от проектной толщины слоя в пределах ± 30 %, остальные - до ± 20 %.

Эти допуски являются более жесткими по сравнению с требованиями СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги», если учесть, что покрытия из ЩМА устраиваются в основном толщиной 3-5 см.

Ровность и поперечные уклоны контролируют с помощью трехметровой рейки (рис. 28). При этом не более 5 % результатов замеров ровности (просветов под рейкой) могут иметь значения в пределах до 6 мм, остальные - до 3 мм; не более 10 % замеров поперечных уклонов могут иметь отклонения от проектных в пределах от минус 0,010 до плюс 0,015, остальные - до $\pm 0,005$.

Ширина слоя покрытия контролируется с помощью мерной ленты. Отклонение от проектной ширины покрытия не должно превышать ± 10 см.



Рис. 28. Контроль ровности и поперечных уклонов покрытия

Качество поперечных и продольных сопряжений уложенных полос оценивается визуально и по ровности, замеряемой с помощью трехметровой рейки.

В соответствии с ГОСТ 31015-2002 уплотнение щебеночно-мастичного асфальтобетона следует контролировать по показателям остаточной пористости или водонасыщения образцов-кernов, которые отбирают не раньше, чем через сутки после устройства верхнего слоя покрытия.

Требования к остаточной пористости и водонасыщению образцов из покрытия регламентированы в зависимости от дорожно-климатической зоны в табл. 10. Требования к коэффициенту уплотнения покрытия из ЩМА не установлены, что объясняется рядом объективных причин, которые изложены ниже.

Как известно, коэффициент уплотнения представляет собой отношение средней плотности образца, отобранного из асфальтобетонного слоя, к средней плотности переставленного образца, сформованного в лаборатории стандартным методом уплотнения.

Этот показатель применяется в дорожном строительстве для контроля степени уплотнения конструктивных слоев дорожной одежды независимо от состава используемой смеси. Однако при переставке образцов из щебеночно-мастичного асфальтобетонного покрытия происходит интенсивное дробление щебня, причем гораздо большее, чем при переставке плотного асфальтобетона.

На рис. 29 показан внешний вид поверхности разлома образцов ЩМА-15 из покрытия (1) и после их переставки (2), который подтверждает интенсивное разрушение щебня.

Отсюда можно заключить, что дробление щебня при переставке образцов снижает доверительную вероятность оценки коэффициента уплотнения дорожных покрытий из ЩМА.

Показатель сходимости результатов испытаний стандартных образцов асфальтобетона зависит от типа уплотняемой смеси [35].

По мере увеличения содержания щебня в смесях каркасного типа расхождение между результатами испытаний параллельных образцов растет.

Например, при наличии в смеси 65 % щебня разброс результатов определения средней плотности асфальтобетона в параллельных образцах, сформованных из одной и той же смеси, увеличился почти на 70 % по сравнению со смесями типа В и Д, где содержание щебня не превышало 30 % по массе. Естественно, что статистическая достоверность оценки коэффициента уплотнения многощебенистых асфальтобетонных смесей по сравнению с малощебенистыми смесями также снижается, причем в большей степени, так как ошибка отношения значений двух случайных величин увеличивается примерно на 40 % [36].

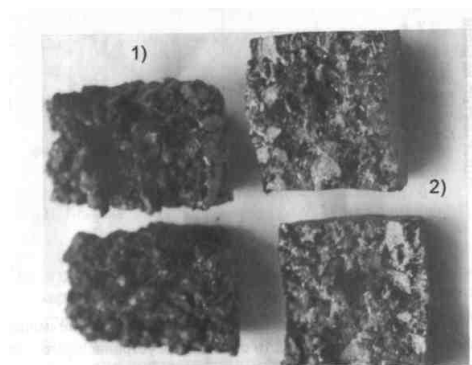


Рис. 29. Поверхности разлома образцов ЩМА:
1) керны из покрытия; 2) переформованные лабораторные образцы

Вполне очевидно, что случайная ошибка оценки коэффициента уплотнения покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона будет относительно высокой, так как содержание щебня в нем превышает 65 %. Чтобы повысить доверительную вероятность коэффициента уплотнения следовало бы увеличивать количество испытываемых образцов.

Однако этот путь вряд ли приемлем, так как покрытия из ЩМА устраиваются более тонкими, чем покрытия из других видов асфальтобетона. Влияние толщины слоя покрытия на минимальное (в соответствии с действующими нормами) количество отбираемых с одного места кернов, необходимое для определения коэффициента уплотнения, показано на рис. 30.

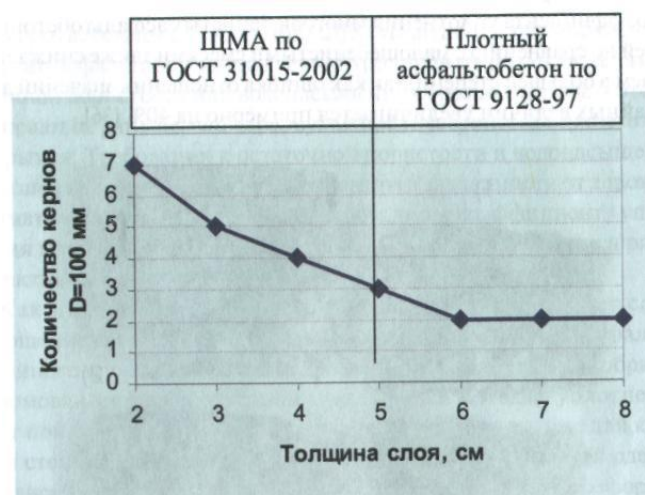


Рис. 30. Требуемое для переформовки по ГОСТ 12801-98 минимальное количество кернов в зависимости от толщины устраиваемого слоя

Из представленных данных видно, что если даже в ущерб допустимой погрешности оставить количество переформованных образцов с одного места отбора неизменным, то и в этом случае минимальное количество кернов должно быть более трех. Но так как контролирующие органы при приемке дорожных покрытий в эксплуатацию не отбирают более чем трех кернов с одного места, то низкая надежность оценки степени уплотнения ЩМА с помощью коэффициента уплотнения очевидна.

Анализ коэффициентов уплотнения дорожного покрытия из ЩМА подтверждает повышенный разброс результатов испытаний. Статистические распределения показателей коэффициента уплотнения дорожных покрытий, устраиваемых одной и той же строительной организацией из щебеночно-мастичного асфальтобетона по ГОСТ 31015-2002 и из асфальтобетона типа А по ГОСТ 9128-97, различались между собой (рис. 31).

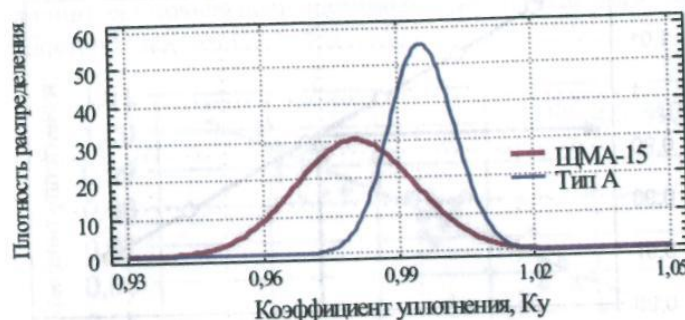


Рис. 31. Кривые распределения коэффициента уплотнения ЩМА и асфальтобетона типа А

По результатам испытаний примерно половина образцов-кernов ЩМА характеризовались коэффициентом уплотнения меньше чем 0,99, тогда как при устройстве покрытия из асфальтобетона типа А количество таких образцов не превышало 10 %.

В то же время при неизменном составе асфальтобетонной смеси между показателем остаточной пористости и коэффициентом уплотнения асфальтобетона существует функциональная зависимость по определению.

Для конкретного состава ЩМА-10 зависимость между остаточной пористостью и коэффициентом уплотнения представлена на рис. 32. Из рисунка видно, что при остаточной пористости 3 % коэффициент уплотнения равен 0,993, таким образом, два сравниваемых показателя дублируют друг друга.

Очевидно, что при стабильном составе асфальтобетонной смеси, выпускаемой на асфальтосмесительной установке с автоматической системой дозирования компонентов, степень уплотнения покрытия можно контролировать только по величине остаточной пористости образцов-кernов или по показателю водонасыщения, который, как известно, находится в тесной корреляционной зависимости с остаточной пористостью.

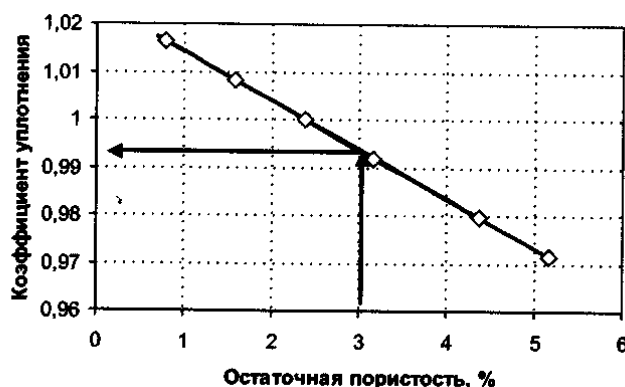


Рис. 32. Функциональная зависимость между остаточной пористостью и коэффициентом уплотнения ЩМА-10

Типичная корреляционная зависимость между коэффициентом уплотнения и водонасыщением образцов из покрытия представлена на рис. 33. Принимая во внимание, что между остаточной пористостью и водонасыщением асфальтобетонов также существует тесная корреляционная связь, в дальнейшем было рекомендовано контролировать степень уплотнения покрытия из ЩМА наименее трудоемким способом - по водонасыщению отбираемых из покрытия образцов-кernов.

Таким образом, качество ЩМА в покрытии оценивается по результатам испытания образцов-кernов, отобранных из окончательно остывшего слоя через 1-3 суток после укладки.

Степень уплотнения уложенного слоя характеризуют показателями плотности и водонасыщения кернов, взятых не менее чем из трех мест на каждые 7000 м² покрытия и испытанных по ГОСТ 12801-98. При этом, исходя из производственного опыта обеспечения качества дорожных покрытий из ЩМА, показатель водонасыщения не должен превышать нормативное значение ГОСТ 31015-2002 как минимум в 90 % образцов, отобранных при сдаче-приемке участка в эксплуатацию. В случае оценки расчетной величины остаточной пористости она должна находиться в пределах требований стандарта.

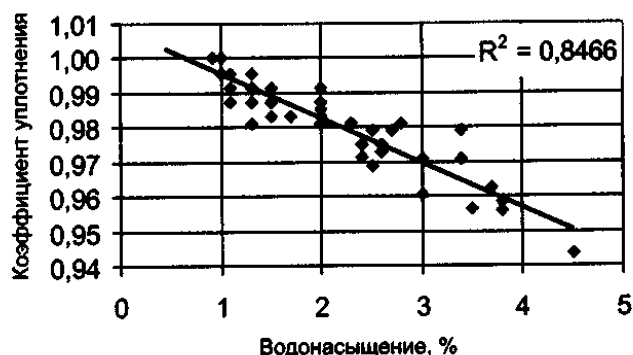


Рис. 33. Корреляция показателей коэффициента уплотнения и водонасыщения ЩМА в покрытии

Качество сцепления слоя ЩМА с нижележащим слоем оценивается при отборе кернов из покрытия.

При хорошем сцеплении между слоями требуется значительное усилие для их разделения в лабораторных условиях.

Шероховатость защитного слоя из ЩМА измеряется методом «песчаное пятно» (рис. 34) в соответствии со СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги».

Требования к средней глубине впадин шероховатости указаны в табл. 15.

Таблица 15. Рекомендуемая шероховатость покрытий из ЩМА

Наименование показателя	Величины показателя для:		
	ЩМА-10	ЩМА-15	ЩМА-20
Средняя глубина впадин шероховатости, мм, не менее	0,8	1,1	1,5

Однородность текстуры поверхности рекомендуется оценивать в баллах в зависимости от коэффициента вариации значений шероховатости на вновь построенном участке покрытия по табл. 16.

Таблица 16. Характеристика однородности текстуры поверхности ЩМА

Коэффициент вариации глубины впадин шероховатости, %	Качество текстуры поверхности
до 15	Отличное (5 баллов)
от 15 до 20	Хорошее (4 балла)
от 20 до 30	Удовлетворительное (3 балла)
более 30	Плохое (2 балла)



Рис. 34. Измерение шероховатости ЩМА методом «песчаное пятно»

Количество измерений в выборке должно быть не менее 30, а места измерений следует назначать равномерно по всей площади контролируемого участка покрытия, предъявляемого к сдаче в эксплуатацию.

Все результаты замеров заносятся в специальные карты контроля, которые рекомендуется приобщать к приемо-сдаточной документации.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Щебеночно-мастичный асфальтобетон становится все более популярным в технически развитых странах вследствие высоких эксплуатационных качеств и долговечности устраиваемых из него дорожных покрытий. Наиболее часто отмечаются следующие положительные свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона:

- сдвигоустойчивость при высоких температурах эксплуатации;
- шероховатая текстура поверхности и хорошее сцепление с колесом автомобиля;
- высокая износостойкость, в том числе к действию шипованных шин;
- водонепроницаемость;
- повышенная трещиностойкость при деформациях покрытия и при механических воздействиях транспортных средств;
- устойчивость к старению.

Эти свойства являются наиболее важными для верхних замыкающих слоев дорожной одежды, что предопределяет применение ЩМА в качестве покрытий на автомагистралях, аэродромах и городских улицах с высокой интенсивностью движения.

4.1. Сдвигоустойчивость

Под сдвигоустойчивостью подразумевается способность асфальтобетона сопротивляться необратимому пластическому деформированию при многократном приложении колесной нагрузки. Основным критерием сдвигоустойчивости принято считать глубину колеи пластичности или соответствующую предельно допустимую необратимую деформацию асфальтобетона, определяемую из условий долговечности покрытия и безопасности автомобильного движения.

Лабораторные испытания колесной нагрузкой образцов-плит из смесей различных составов показали более высокую устойчивость к колееобразованию щебеночно-мастичного асфальтобетона по сравнению с плотным и, тем более, с литым асфальтобетоном [37]. Характерные зависимости глубины колеи от количества проходов нагруженного колеса приведены на рис. 35.

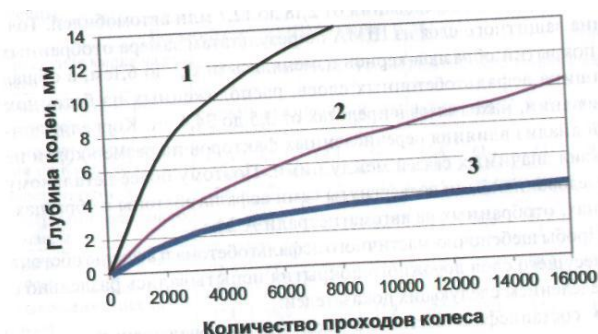


Рис. 35. Кинетика колееобразования в образцах асфальтобетона различных видов: 1 - литого; 2 - плотного; 3 - ЩМА

Благодаря жесткому щебеночному основанию, обеспечивающему передачу нагрузки с поверхности покрытия в нижележащий слой через контактирующие друг с другом крупные зерна каменного материала, слой ЩМА подвергается меньшим деформациям, как в поперечном, так и в продольном направлении [38].

Повышенная сдвигоустойчивость ЩМА позволяет снизить требования к теплоустойчивости асфальтового вяжущего.

В Германии считают достаточным обеспечить величину температуры размягчения мастики или асфальтового вяжущего (битум + минеральный порошок + волокна) в пределах 85-100 °С.

Натурные исследования причин образования колеи непосредственно на асфальтобетонных покрытиях, устроенных с защитными слоями из щебеночно-мастичного асфальтобетона марки ЦМА 0/11, проводились на автомагистралях в районе Бранденбурга [37].

Замеры глубины колеи и отбор проб из покрытий был произведен в 22-х точках.

Максимальная глубина колеи в местах отбора проб изменялась от 1,7 до 16,0 мм.

Обследованные участки покрытий находились в эксплуатации от 9 до 56 месяцев.

Суммарное число проходов большегрузных автомобилей в обоих направлениях составляло на момент обследования от 2,18 до 12,7 млн. автомобилей.

Толщина защитного слоя из ЦМА по результатам замера отобранных из покрытий образцов-кернов изменялась от 3,1 до 6,1 см, а общая толщина асфальтобетонных слоев, расположенных на бетонном основании, находилась в пределах от 3,5 до 34,4 см.

Корреляционный анализ влияния перечисленных факторов на размер колеи не выявил значимых связей между ними. Поэтому более детальному исследованию были подвергнуты сами асфальтобетоны в образцах-кернах, отобранных на автомагистрали А 24.

Пробы щебеночно-мастичного асфальтобетона и асфальтобетона из несущего слоя дорожного покрытия испытывались отдельно с определением следующих показателей:

- состав асфальтобетонов в покрытии, включая оценку содержания полимерно-битумного вяжущего, щебня, песка, минерального порошка и соотношения между дробленным и природным песком;
- проектная и фактическая марка битумного вяжущего в пробах, в том числе температура размягчения по методу «Кольцо и шар» и эластичность экстрагированного вяжущего;
- остаточная пористость асфальтобетонов в покрытии и в переформованных образцах Маршалла с расчетом степени уплотнения конструктивных слоев на момент обследования;
- результаты испытания образцов-кернов диаметром 300 мм послойно в водяной бане при 50 °С на образование колеи от действия колесной нагрузки.

Основные результаты исследований приведены в табл. 17.

Таблица 17. Протокол испытаний покрытия автомагистрали А 24 в районе г. Бранденбург

Наименование показателей	Номера участков покрытий автомагистрали А 24							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Глубина колеи в покрытии, мм	10,1	5	12,2	4,3	16	4	4,4	12,2
Срок службы покрытия, месяцы	38	38	37	37	13	13	14	14
Верхний слой из ЦМА марки ЦМА/11								
Проектная марка вяжущего	PmB65	PmB65	PmB65	PmB65	PmB45	PmB45	PmB65	PmB65
Фактическая марка вяжущего	PmB65	PmB65	PmB65	PmB65	PmB45	PmB45	В 65	В 65
Температура размягчения по КиШ, °С	62,5	62,9	64,1	59,1	63,6	61,1	55	59,4
Эластичность, %	75	71	63,5	77,5	68,5	75,5	13	14
Содержание вяжущего, % массы	6,6	6,3	6,5	6,9	6,1	6,3	6,2	5,9
Содержание щебня, % массы	72,6	73,2	70,9	72,9	71,7	71,4	70,2	68,3
Содержание песка, % массы	17,1	16,6	18,7	17,9	17,5	18,1	17,2	18
Содержание минерального	10,3	10,2	10,4	9,2	10,8	10,5	12,6	13,7

порошка								
% дробленого песка	100	100	100	100	100	100	100	50
Остаточная пористость в образцах Маршалла, %	6,8	7,1	6,7	5,8	4,8	5,2	3,4	1,8
Остаточная пористость в кернах, %	4,7	6,7	7,2	5	7,1	4,9	4,2	2,9
Степень уплотнения покрытия, %	102,3	100,5	99,5	101	97,6	100,4	99,2	98,9
Тест керна на образование колеи при 50 °С, мм	2,5	2,1	1,6	1,6	2,9	2,4	1,9	Отказ (2000)
Несущий слой смеси АВ 0/16 (22)								
Проектная марка вяжущего	PmB65	PmB65	PmB65	PmB65	PmB45	PmB45	PmB65	PmB65
Фактическая марка вяжущего	PmB65	PmB65	PmB65	PmB65	PmB45	PmB45	В 65	В 65
Температура размягчения по КиШ, °С	75,6	76,2	77,1	60,1	69,2	65,1	68,1	74,5
Эластичность, %	49,4	50	48,1	71,5	68,5	72	9	9
Содержание вяжущего, % массы	4	4,3	4,6	5	4	4,5	4,8	3,9
Содержание щебня, % массы	71,2	69,8	69,9	73,1	72,6	69,1	68,1	74,5
Содержание песка, % массы	21	21,8	22,7	21,3	19,3	21,8	25,1	18,7
Содержание минерального порошка	7,8	8,4	7,4	5,6	8,1	9,1	6,8	6,8
% дробленого песка	100	100	100	100	100	100	50	50
Остаточная пористость в образцах Маршалла, %	10	9,1	8,8	9,4	8	7,4	4,6	6
Остаточная пористость в кернах, %	7	7	7,6	5,1	11,6	5,6	3,9	5,2
Степень уплотнения покрытия, %	103,4	102,4	101,4	104,8	96,1	102	100,8	100,9
Тест керна на образование колеи при 50 °С, мм	1,2	2,2	Отказ (8000)	2,9	3	4,5	Отказ (4000)	Отказ (8000)

Анализируя результаты испытаний отобранных из покрытий образцов, можно констатировать комплексное воздействие на глубину колеи многочисленных факторов. При этом влияние состава и структуры асфальтобетона на глубину колеи прослеживается достаточно четко.

Так, самая большая глубина колеи, равная 16 мм, соответствует участку № 5, где обнаружена наименьшая степень уплотнения несущего слоя асфальтобетона и верхнего слоя из щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА 0/11.

На участке № 4, который прослужил 37 месяцев, зафиксирована небольшая колея 4,3 мм.

Хотя в пробе щебеночно-мастичного асфальтобетона из указанного места было установлено самое большое содержание полимерно-битумного вяжущего (6,9 %), однако при этом остаточная пористость асфальтобетона в кернах и в переформованных образцах по Маршаллу составила соответственно 5 и 5,8 %, что согласуется с наименьшим содержанием минерального порошка в данной пробе.

Экстрагированное из щебеночно-мастичного асфальтобетона полимерно-битумное вяжущее характеризуется эластичностью 77,5 %. Эти показатели в целом объясняют высокую сдвигоустойчивость верхнего слоя покрытия, которая была также установлена и испытаниями образцов на колееобразование при 50 °С.

Другие результаты испытаний получены на участке № 8, где зафиксирована глубина колеи 12,2 мм уже после 14 месяцев эксплуатации покрытия.

В пробах щебеночно-мастичного асфальтобетона, отобранных в указанном месте из верхнего слоя покрытия, было обнаружено самое низкое содержание щебня 68,3 % и самое высокое содержание минерального порошка 13,7 %.

В результате остаточная пористость в стандартно уплотненных образцах Маршалла составила всего 1,8 %, а сами керны не выдержали испытание на сдвигоустойчивость колесом.

После 2000 проходов колеса глубина колеи в образце при 50 °С превысила допустимую величину. Если принять во внимание, что в песчаной части половину составлял природный песок с окатанной формой зерен, то можно предположить о недостаточно высоком коэффициенте внутреннего трения анализируемого щебеночно-мастичного асфальтобетона. Однако этот показатель в рассматриваемой работе не определялся.

Способность асфальтобетона сопротивляться деформациям и разрушению обусловлена его структурой и зависит от реологических свойств, таких как вязкость, упругость и пластичность, связанных с усталостной прочностью и долговечностью материала.

К важнейшим показателям, определяющим сдвигоустойчивость асфальтобетона в покрытии, относятся также производные реологические параметры, характеризующие зависимости пластической вязкости или сцепления при сдвиге от скорости деформирования и температуры.

Необратимое деформирование асфальтобетона характеризуется нелинейной зависимостью между напряжением и равновесной скоростью ползучести, что неоднократно показано испытаниями образцов при различных напряженно-деформированных состояниях. Неньютоновская пластическая вязкость асфальтобетона является неинвариантной по отношению к действующим напряжениям и скоростям деформирования, что необходимо учитывать при оценке накопления остаточных деформаций в дорожном покрытии по скорости необратимого деформирования лабораторных образцов.

Примечательно, что при растяжении асфальтобетона статический предел текучести экспериментально не обнаруживается, тогда как при сдвиге, особенно в условиях объемно-напряженного сжатия, этот параметр значителен, поэтому вносит весомый вклад в накопление необратимых деформаций и глубину колеи в покрытии.

Статический предел текучести при сдвиге в соответствии с законом Кулона пропорционален коэффициенту внутреннего трения, а пластическая вязкость соответствует сцеплению при сдвиге.

Испытания показывают, что статический предел текучести при сдвиге зависит от структуры минерального остова, а показатель сцепления при сдвиге обуславливается вязкостью асфальтового вяжущего вещества.

По сравнению с плотными асфальтобетонами щебеночно-мастичный асфальтобетон характеризуется более высокой величиной внутреннего трения вследствие повышенного содержания кубовидного щебня и отсутствия природного песка в составе смеси. В то же время для ЩМА характерны минимальные значения сцепления при сдвиге из-за высокого содержания слабоструктурированного «объемного» битума (рис. 36).

В пределах действующих стандартных требований к характеристикам сдвигоустойчивости асфальтобетонов различных типов, которые показаны на рис. 36, устойчивость к колееобразованию можно регулировать при подборе состава смеси.

К основным показателям сдвигоустойчивости асфальтобетона относятся коэффициент внутреннего трения, пластическая вязкость, теплостойкость и коэффициент пластичности [27].

Эти реологические характеристики зависят от состава и структуры асфальтобетона.

Они изменяются в широких пределах в зависимости от зернового состава и качества минеральных материалов, содержания и качества битума, применения полимерных и минеральных структурирующих добавок в смеси.

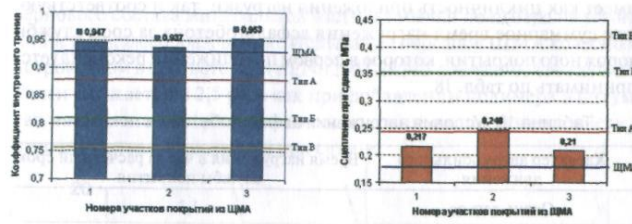


Рис. 36. Средние значения характеристик сдвигоустойчивости щебеночно-мастичных асфальтобетонов в верхних слоях экспериментальных покрытий

Показатель сцепления асфальтобетона при сдвиге можно повысить в 1,5-2 раза, если добавить в битум БНД 60/90 блоксополимер типа «стирол-бутадиен-стирол» в количестве от 3 до 5 % [40].

Если же использовать полимерно-битумное вяжущее ПБВ 90 по ГОСТ Р 52056-2003, приготовленное на основе битума БНД 60/90 с добавлением в качестве пластификатора индустриального масла И-40А, то показатель сцепления асфальтобетона при сдвиге снижается примерно на 10 %.

Однако в этом случае коэффициент пластичности m также снижается на 10-15 %, а термоустойчивость (отношение показателей прочности при сжатии R_{50}/R_{20}) повышается в среднем на 20 %.

Расчеты, согласующиеся с данными мониторинга, показывают, что более теплоустойкие и менее пластичные полимерасфальтобетоны в меньшей степени подвержены колеобразованию в покрытии. Это справедливо и в отношении щебеночно-мастичных асфальтобетонов на ПБВ, что подтверждают результаты их испытаний.

Интенсивность колеобразования зависит не только от реологических свойств, но и от напряженно-деформированного состояния асфальтобетона, толщины и температурно-временных условий нагружения покрытия.

При оценке устойчивости покрытий к колее-образованию следует учитывать возросшие расчетные нагрузки на ось и повышение давления в шинах автомобилей.

Большое значение имеет как цикличность приложения нагрузки, так и соответствующее суммарное время нагружения асфальтобетона за срок службы дорожного покрытия, которое в первом приближении рекомендуется принимать по табл. 18.

Таблица 18. Условия нагружения асфальтобетона в покрытии

Характер автомобильного движения	Время нагружения в час за расчетный срок службы покрытия
Очень легкое	1,3
Легкое	4,2
Среднее	12,9
Тяжелое	42,8
Очень тяжелое (с частыми заторами)	424

При крайне неблагоприятном характере автомобильного движения преимущества щебеночно-мастичных асфальтобетонов в обеспечении устойчивости к колеобразованию покрытий проявляются в наибольшей степени.

Результаты расчетов прогнозируемого колеобразования в покрытиях из ЩМА толщиной 6 см в условиях очень тяжелого автомобильного движения представлены на рис. 37.

Из рисунка следует, что устойчивость к колеобразованию покрытий из ЩМА в одних и тех же климатических условиях эксплуатации можно повышать как в результате

применения полимерно-битумных вяжущих, так и оптимизацией зернового состава и структуры минерального остова в сторону повышения внутреннего трения.

Введение в полимерно-битумные вяжущие пластификаторов снижает эффект повышения сдвигоустойчивости ЩМА. Устойчивость к колееобразованию покрытий из ЩМА можно обеспечить и в случае применения обычных битумов по ГОСТ 22245-90, если зерновые составы минеральной части будут гарантировать коэффициент внутреннего трения не менее 0,94.

Результаты расчетов согласуются с исследованиями института Шеленберга (Германия), где было установлено сопоставимое влияние зернового состава минеральной части и добавки полимера на устойчивость к колееобразованию.

Испытания образцов ЩМА колесным устройством в соответствии с EN 12697-22 [41] показали, что глубина колеи снижается в 2,5 раза как при добавлении полимера в битум, так и при изменении зернового состава минеральной части смеси в сторону большей жесткости при сдвиге.

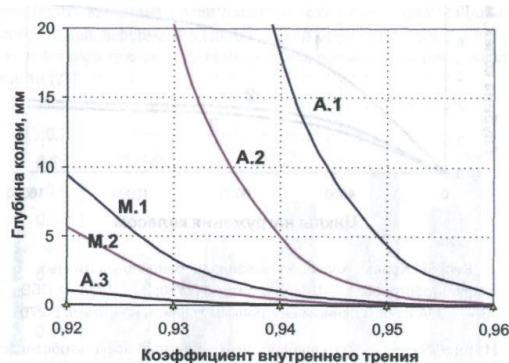


Рис. 37. Зависимость глубины колеи пластичности от коэффициента внутреннего трения щебеночно-мастичного асфальтобетона для климатических условий г. Астрахани (А) и Москвы (М):
1 - ЩМА-15 на битуме БНД 60/90; 2 - ЩМА-15 на ПБВ 90;
3 - ЩМА-15 на полимерно-битумном вяжущем без пластификатора

Правильно запроектированные составы ЩМА характеризуются высокими показателями коэффициента внутреннего трения [42]. Обобщенные результаты лабораторных испытаний на сдвигоустойчивость асфальтобетонов различных типов, включая ЩМА, независимо от вязкости применяемых битумов, представлены на рис. 36.

Эти данные согласуются с ранее полученными результатами [40, 42], характеризующими влияние основных структурообразующих факторов на сдвигоустойчивость асфальтобетона.

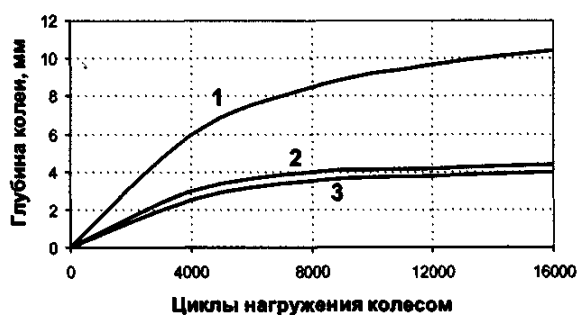


Рис. 38. Кривые колееобразования щебеночно-мастичных асфальтобетонов:
1 - ЩМА на битуме 50/70; 2 - ЩМА на ПБВ;
3 - ЩМА с повышенным внутренним трением на битуме 50/70

Из рис. 39 следует, что щебеночно-мастичный асфальтобетон характеризуется наибольшей величиной предела текучести при сдвиге.

Примечательно, что сдвигоустойчивость ЩМА обеспечивается в основном за счет этого показателя, обусловленного внутренним трением минерального остова, тогда как повышенное содержание в смеси битума не способствует росту сопротивления битумных пленок сдвигу (когезии). Эта дилемма решается при проектировании составов ЩМА.

Только при создании устойчивого минерального остова в асфальтобетоне можно гарантировать как сдвигоустойчивость покрытия, так и высокий уровень других эксплуатационных свойств: трещиностойкости, водоморозостойкости, водонепроницаемости и пр.

При относительно низкой вязкости асфальтового вяжущего вещества, характерной для ЩМА, важно определить, какое место занимает рассматриваемый материал по устойчивости к колееобразованию среди других типов асфальтобетона, используемых для устройства покрытий. Для этого подобранные в лаборатории асфальтобетоны различных составов по ГОСТ 9128-97 испытывались и оценивались наряду с ЩМА на устойчивость к колееобразованию одним и тем же методом СТО 007-2007.

Этот стандартный метод дает возможность определить величину колеи пластичности по результатам оценки необратимой деформации сдвига, накапливаемой в слое покрытия под действием транспортных нагрузок за расчетный период эксплуатации [27].



Рис. 39. Предел текучести асфальтобетонов различных типов при нормальном давлении 0,6 и 0,7 МПа

В качестве примера в табл. 19 приведены результаты оценки образования предельно допустимой колеи пластичности в покрытии толщиной 60 мм, устроенном из асфальтобетонов различных типов на основе битума марки БНД 90/130. Эти данные дают общее представление о количественном влиянии на сдвигоустойчивость не только типа асфальтобетона, но и условий его эксплуатации, т.е. климата региона и характера движения автомобильного транспорта по покрытию.

Таблица 19. Расчетное время образования критической колеи пластичности, годы

Климатический регион	Вид и тип асфальтобетона	Характер движения по покрытию			
		Легкое	Среднее	Тяжелое	С заторами
Астрахань	ЩМА	> 10	> 10	> 10	1,4
	А	> 10	> 10	7,6	0,8
	Б	> 10	8,7	2,6	0,3
	В	> 10	8,9	2,7	0,3
	Д	3,1	1,0	0,3	0,1
Москва	ЩМА	> 10	> 10	> 10	> 10
	А	> 10	> 10	> 10	> 10
	Б	> 10	> 10	> 10	4,2

Архангельск	В	> 10	> 10	> 10	2,6
	Д	> 10	> 10	8,3	0,8
	ЩМА	> 10	> 10	> 10	> 10
	А	> 10	> 10	> 10	> 10
	Б	> 10	> 10	> 10	> 10
	В	> 10	> 10	> 10	7,7
	Д	> 10	> 10	> 10	4,3

Таким образом, сдвигоустойчивость дорожных покрытий из ЩМА можно обеспечить за счет реологических свойств, зависящих от структуры минерального остова и вязкости применяемого битумного вяжущего.

Технико-экономическая задача создания оптимальной структуры асфальтобетона должна решаться на основе комплексного учета основных факторов, влияющих на колееобразование дорожных покрытий.

4.2. Трещиностойкость

Трещиностойкость асфальтобетона в верхнем слое покрытий дорог и аэродромов зависит от многих факторов: реологических и прочностных свойств материала, конструкции дорожной одежды, условий эксплуатации, в том числе от климата района расположения объекта. Являясь распространенным дефектом, трещины в покрытии приводят в конечном итоге к снижению сроков службы дорожных конструкций.

Зарубежный опыт применения щебеночно-мастичных асфальтобетонов показал, что устраиваемые из них защитные слои служат дольше в случаях большего содержания битума и асфальтового вяжущего вещества (мастики).

Высокое содержание битума увеличивает деформативность ЩМА при растяжении, а более податливый материал обладает соответственно более низкими растягивающими напряжениями, возникающими при деформировании верхнего слоя покрытия.

При проведении сопоставительных лабораторных испытаний традиционных и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей с различными стабилизирующими добавками были выявлены лучшие деформативные и прочностные свойства у ЩМА [44].

Этими свойствами обычно объясняют тот факт, почему покрытия из ЩМА оказываются более стойкими к температурному и усталостному трещинообразованию [1].

Несомненно, что опубликованные данные, указывающие на высокую трещиностойкость конструктивных слоев из ЩМА, заслуживают пристального внимания и изучения.

Необходимо обращать внимание на то, что низкотемпературная трещиностойкость асфальтобетона зависит не только от абсолютных значений деформативных и прочностных свойств материала при расчетной низкой температуре, но и от температурной чувствительности этих показателей, которая у ЩМА оказывается более высокой, чем у плотных и высокоплотных асфальтобетонов.

Поэтому оптимальная по трещиностойкости структура проектируемого асфальтобетона, скорее всего, будет зависеть от условий его применения.

В то же время выводы относительно повышенной усталостной трещиностойкости слоев из ЩМА являются бесспорными.

Высокая усталостная стойкость покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона обеспечивается повышенным содержанием битумного вяжущего и, соответственно, низким показателем остаточной пористости, а также армирующим действием применяемых волокнистых добавок.

По сравнению с плотными асфальтобетонами по ГОСТ 9128-97 щебеночно-мастичный асфальтобетон характеризуется, как правило, более низкими значениями модуля упругости на растяжение при изгибе при температуре 0 °С, однако этот показатель в меньшей степени реагирует на количество циклов прикладываемой нагрузки.

Показатели прочности на растяжение при изгибе (при 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин.) ЩМА и плотных асфальтобетонов оказались близкими между собой.

На рис. 40 представлена зависимость прочности на растяжение при изгибе асфальтобетонов типа А и ЩМА от марки применяемого битума.

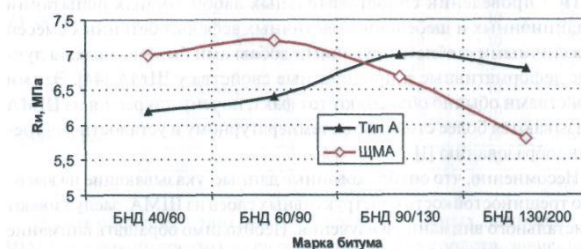


Рис. 40. Влияние марки битума на среднее сопротивление растяжению при изгибе асфальтобетонов типа А и ЩМА

Примечательно, что ЩМА на основе более вязких битумов показывает при испытаниях большую прочность, а на менее вязких — меньшую, чем асфальтобетон типа А. Поэтому можно предположить, что толщина битумных пленок также вносит свою лепту в суперпозицию реологических и прочностных свойств асфальтобетона, как и другие факторы, такие как марка битума, температура и время нагружения [45].

Очевидное преимущество ЩМА обнаруживается при определении относительной предельной деформации растяжения [30]. Температурные зависимости предельной деформации растяжения асфальтобетонов типа А и ЩМА приведены на рис. 41.

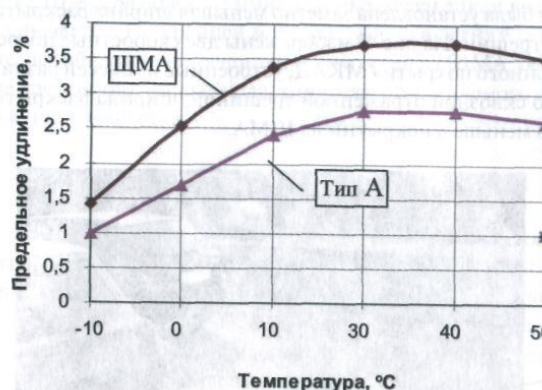


Рис. 41. Температурные зависимости предельной деформации растяжения асфальтобетонов типа А и ЩМА

В соответствии с закономерностями долговременной прочности предельная деформация пропорциональна показателю долговечности асфальтобетона при растяжении.

Поэтому среди уплотняемых типов смесей щебеночно-мастичный асфальтобетон оказывается наиболее трещиностойким к усталостному действию растягивающих напряжений.

Во Франции при обследовании участков покрытий толщиной 3-5 см, устроенных из ЩМА с добавками волокон, был выявлен эффект замедления роста отраженных трещин.

При этом отмечалось, что появившиеся на поверхности трещины тонкие, для которых не свойственно прогрессирующее разрушение [46].

По нашим наблюдениям за покрытиями из ЩМА в Московском регионе, также было отмечено замедление роста отраженных трещин.

Например, после ремонта покрытия Носовихинского шоссе асфальтобетонной смесью типа Б отраженные трещины проявлялись на следующий год, а в покрытии из ЩМА - только на второй год эксплуатации.

При обследовании участков ЩМА на дорогах с цементобетонными основаниями была установлена заметно меньшая ширина раскрытия отраженных трещин.

На рис. 42 изображены две скоростные полосы асфальтобетонного покрытия МКАД, устроенные из смесей различных видов, со сквозной отраженной трещиной, ширина раскрытия которой явно меньше в покрытии из ЩМА.



Рис. 42. Вид отраженной трещины на поверхности покрытия МКАД из асфальтобетона типа А (1) и ЩМА (2)

Наблюдения за щебеночно-мастичными покрытиями показывают, что развитие трещин и их разрушение происходит медленнее, чем в асфальтобетонах других типов.

Отмечено, что после появления отраженных трещин в опытном покрытии из щебеночно-мастичного асфальтобетона они не санировались и не разрушались в течение 6 лет, а на участках покрытия из асфальтобетона типа А в местах трещин по весне образовывались выбоины.

В качестве достоинств ЩМА иногда также отмечают способность к «самозалечиванию» микротрещин. Хотя объективный метод оценки этого показателя асфальтобетона пока не разработан, тем не менее, из-за присутствия объемного битума и допускаемой при подборе состава ЩМА раздвижки минеральных зерен такая возможность не исключается.

По крайней мере, визуально в летний период заметно труднее обнаружить трещины на покрытии из ЩМА, особенно в случае достаточно высокой пластичности применяемого асфальтового вяжущего вещества.

4.3. Износостойкость

Отмечаемая в литературе более высокая износостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона достигается не только за счет применения в его составе дробленых зерен из прочных горных пород, но и за счет высокого содержания податливого асфальтового вяжущего вещества.

Это было установлено лабораторными экспериментами и непосредственными наблюдениями за состоянием защитных слоев дорожных одежд [28].

Интересно отметить следующую информацию, указывающую на актуальное значение рассматриваемого свойства защитных слоев дорожных покрытий к действию шипованных шин.

Так, инженеры-дорожники на Аляске были весьма озабочены истирающим действием шипованных шин на асфальтобетонные покрытия. По их данным, Аляска тратит ежегодно 5 млн. долларов США, чтобы исправить колеи на поверхности асфальтобетонных покрытий.

Причем было установлено, что большинство колеи на дорогах высоких категорий образуются в результате воздействия на дорожное покрытие шипованных шин легковых автомобилей на высокой скорости, и в меньшей степени от обычных шин тяжелых грузовиков.

С целью изучения опыта Скандинавских стран, где разрешено применение шин с шипами, инженеры с Аляски посетили Норвегию, Швецию и Финляндию. В результате изучения опыта они пришли к выводу, что использование в верхних слоях дорожных покрытий щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей может уменьшить показатели износа поверхности покрытия на 25-50 %. Этот эффект оказался соизмеримым с эффектом от замены шин с обычными металлическими шипами на шины со специально разработанными «облегченными» шипами.

Для ликвидации колеи износа и для повышения износостойкости дорожных покрытий к истирающему действию шипованных шин разрабатываются специальные мероприятия, в том числе рекомендуется применять щебеночно-мастичные асфальтобетоны на основе более крупного щебня из износостойких горных пород.

Это вытекает из данных о влиянии марки асфальтобетона на скорость износа покрытий, которые приведены в Изменении 2003 года Финских норм на асфальт [14]. Представляя эти данные в виде диаграммы (рис. 43), можно установить относительное влияние вида асфальтобетона и крупности щебня на неравномерный износ асфальтобетонных покрытий.



Рис. 43. Влияние марки асфальтобетона на скорость износа покрытия

Из диаграммы следует, что устойчивость дорожных покрытий к износу повышается не только при замене плотного асфальтобетона на щебеночно-мастичный, но и в результате применения более крупного каменного материала в асфальтобетонной смеси.

Колея износа имеет вполне определенное очертание в виде углублений по полосам наката при отсутствии на поверхности гребней выпора, которые являются характерными для колеи пластичности.

В последнее время подобный вид колеи превалирует на городских улицах г. Москвы и на Московской кольцевой автодороге по скоростным полосам движения [47], что, по всей видимости, связано со сложившимися в последние годы условиями эксплуатации дорожных покрытий.

Реальная интенсивность автомобильного движения, состав транспортного потока, повышенный скоростной режим, повсеместное применение шипованных шин и противогололедных реагентов приводят к ускоренному неравномерному износу асфальтобетонного покрытия и появлению соответственно колеи на скоростных полосах дороги.

В этом отношении наиболее показательна Московская кольцевая автодорога (МКАД), на которой интенсивность движения сразу же после реконструкции достигла пропускной способности. Специфические условия эксплуатации асфальтобетонного покрытия на МКАД характеризуются максимальной загруженностью трассы автомобильным транспортом, неравномерным распределением состава и скорости транспортного потока по полосам движения, неоднородной конструкцией дорожной одежды и различными

свойствами старого асфальтобетона в нижнем слое покрытия на скоростных полосах движения.

С 2003 года при ремонте крайней левой скоростной полосы МКАД стали применять для устройства однослойного покрытия щебеночно-мастичный асфальтобетон.

В 2005 году по техническому заданию ГУП «Центр мониторинга дорог и дорожных технологий г. Москвы» было проведено инструментальное обследование участков покрытий из ЩМА, которые устраивались в 2003 году на левой полосе движения МКАД.

Мониторинг включал общее визуальное обследование эксплуатационного состояния поверхности покрытия и инструментальное обследование с определением колеиности [48] и отбором кернов. Схема отбора кернов на скоростной полосе движения МКАД показана на рис. 44.

В результате проведенных обследований покрытий из ЩМА были обнаружены отдельные участки, на которых образовалась колея, и участки без признаков колеиности.

Внешний вид кернов, отобранных с этих участков согласно схеме (рис. 44), представлен на рис. 45.

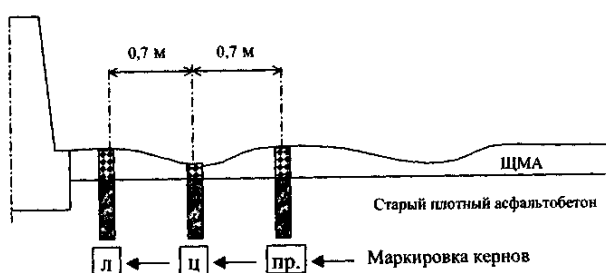


Рис. 44. Схема отбора кернов при обследовании покрытия из ЩМА на МКАД

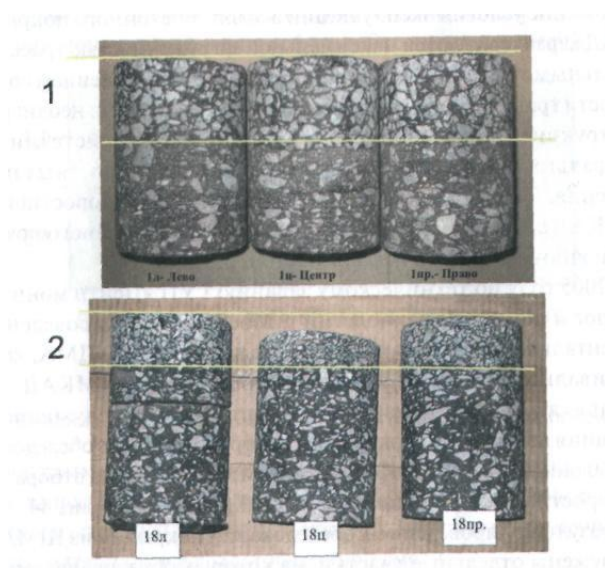


Рис. 45. Вид асфальтобетонных кернов с полосы наката на участках:
1 - без колеи; 2 - с колеями

На участках без колеи толщина слоя ЩМА в смежных кернах была примерно одинаковой.

На участках с колеиностью обследования и результаты замеров толщины верхнего слоя ЩМА в отобранных кернах указывают на интенсивный неравномерный износ покрытия, приуроченный к полосам наката.

Различие в толщинах ЩМА в центре крайней левой полосы наката и на расстоянии 70 см от нее в левую и правую сторону достигало 25 мм, что соответствует глубине колеи в местах отбора кернов.

Анализ результатов испытаний ЩМА в образцах из покрытия выявил случаи нарушения требований ГОСТ 31015-2002, прежде всего, по показателю водонасыщения.

В кернах из покрытия с колеиностью водонасыщение превышало допустимую величину 3,5 %. Кроме того, для образцов ЩМА из кернов № 18 (см. 2 на рис. 45) представилась возможность оценить водостойкость при длительном водонасыщении, которая оказалась равной 0,71, что ниже минимально допустимой величины 0,85, регламентированной стандартом.

Учитывая высокий уровень износа покрытия в месте отбора этих кернов, можно заключить, что низкая водостойкость ЩМА могла явиться одной из причин колеи износа на скоростной полосе МКАД.

Чтобы оценить влияние состава асфальтобетона на его износостойкость были проанализированы зерновые составы минеральной части ЩМА-15 на обследованных участках покрытия, которые также различались между собой.

На участках с колеиностью в асфальтобетонной смеси использовался явно более мелкий щебень, что привело к отклонению зерновых составов в кернах за пределы требований стандарта.

Для уточнения характеристики крупности щебня в составах ЩМА был произведен дополнительный рассев зерен узких фракций на ситах с круглыми отверстиями 12,5 мм и 7,5 мм и предложен дополнительный показатель крупности щебня в кернах.

Для щебня фракции 10-15 мм - это отношение содержания фр. 12,5-15 к фр. 10-12,5, а для фр. 5-10 мм - это отношение содержания фр. 7,5-10 к фр. 5-7,5.

Крупность всего щебня, выделенного из конкретного образца ЩМА, характеризовали произведением частных показателей крупности составляющих фракций:

$$Kp_{Щ} = \left(\frac{\text{фр.} > 12,5}{\text{фр.} 10 - 12,5} \right) \left(\frac{\text{фр.} 7,5 - 10}{\text{фр.} 5 - 10} \right), (6)$$

В результате сопоставления величины износа покрытия из ЩМА с выделенными для анализа факторами пришли к следующим выводам.

Как и следовало ожидать, скорость износа покрытия на скоростной полосе движения зависит в сильной степени от показателя водонасыщения ЩМА. Обнаружена достаточно тесная корреляционная зависимость между ними, которая построена по полученным результатам испытаний и представлена на рис. 46.

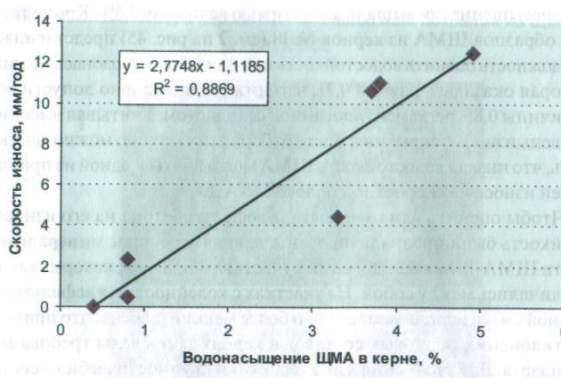


Рис. 46. Зависимость скорости износа покрытия МКАД от показателя водонасыщения

По мере увеличения водонасыщения (или пористости) ЩМА пропорционально растет скорость износа покрытия. При значении водонасыщения 1 % скорость износа составила около 2 мм/год, а при водонасыщении 4 % за 1 год изнашивается 10 мм покрытия, т.е. в 5 раз больше.

Если сопоставлять размер колеи износа в покрытии с составом ЩМА, обнаруженном в отобранных кернах, то в пределах фактического изменения содержаний щебня, ми-

нерального порошка и битума не прослеживаются достаточно тесные линейные связи этих факторов со скоростью износа.

Тем не менее, можно отметить определенную тенденцию в повышении износостойкости ЩМА с увеличением в его составе содержания минерального порошка, что следует из рис. 47. Коэффициент корреляции представленной зависимости $R = 0,5$.

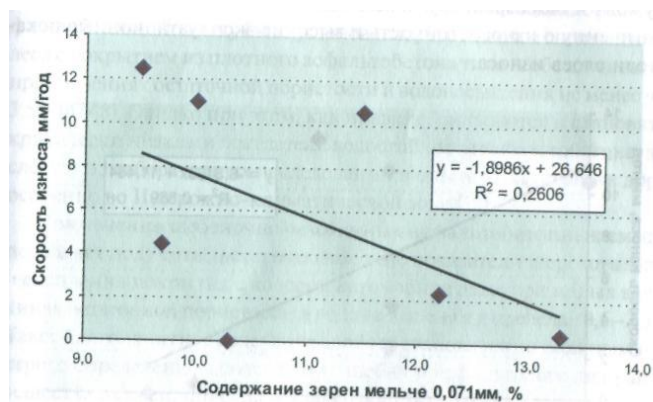


Рис. 47. Корреляция скорости износа покрытия с содержанием минерального порошка в ЩМА

Более тесная корреляционная связь скорости износа покрытия на полосах наката установлена с фактором крупности применяемого щебня (коэффициент корреляции $R = 0,6$) (рис. 48).

Результаты обследований показали, что скорость износа покрытия снижается по мере повышения крупности щебня, применяемого в составе ЩМА, что согласуется с финскими данными (рис. 43).

На основании анализа результатов мониторинга покрытий из ЩМА, уложенных на скоростных полосах движения МКАД, было предложено ужесточить требования к остаточной пористости и водонасыщению, повысить нижний предел содержания минерального порошка и обеспечивать показатель длительной водостойкости ЩМА на уровне не менее 0,90.

В целом же для повышения износостойкости защитных слоев дорожных покрытий необходимы комплексные исследования, направленные на изучение влияния условий эксплуатации на интенсивность износа верхних слоев покрытий (а также для обоснования дифференцированных норм износа и сроков службы) и на разработку новых составов смесей, обеспечивающих повышенную износостойкость и высокие эксплуатационные показатели слоев износа.

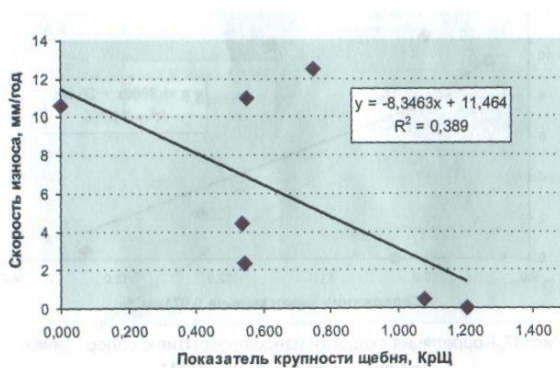


Рис. 48. Зависимость скорости износа покрытия от показателя крупности щебня в ЩМА

4.4. Фрикционные свойства и шероховатость покрытий

При высоких скоростях автомобильного движения существенно возрастает роль трения и сцепления колес автомобиля с поверхностью дорожного покрытия. Для безопасного движения автомобилей требуются хорошие фрикционные свойства дорожного полотна, что достигается в основном созданием шероховатости на поверхности устраиваемого покрытия.

Опыт применения горячих асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-97 показывает, что по мере повышения плотности асфальтобетона наблюдается сглаживание шероховатости поверхности покрытия.

При предельном заполнении межзерновых пустот в щебеночном остоле асфальтовым вяжущим веществом получается гладкая и скользкая поверхность укатанного покрытия из плотного и высокоплотного асфальтобетона. Поэтому было установлено, что высокое сцепление колеса с покрытием из плотного асфальтобетона типа А обеспечивается при значениях остаточной пористости и водонасыщения не менее чем 3,5 % [47,48].

Однако при этом, как правило, снижаются и становятся критически низкими показатели водостойкости асфальтобетона, что следует из лабораторных исследований и опыта эксплуатации дорог, особенно, во II дорожно-климатической зоне [12].

Применение щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей позволяет получить достаточно высокие показатели шероховатости и сцепления покрытия с колесом автомобиля даже при малых величинах остаточной пористости и водонасыщения в пределах 0,5-3,0 %.

Такое благоприятное сочетание свойств становится возможным при строго определенном содержании щебня и асфальтового вяжущего вещества в смеси, присущем только составам ЩМА.

Результаты статистической обработки данных измерений глубины впадин шероховатости, полученных методом «песчаного пятна» при контроле качества строительства экспериментального участка верхнего слоя покрытия из ЩМА-15, приведены на рис. 49.

Показатели шероховатости покрытия ЩМА-15 подчиняются нормальному закону распределения.

Результаты замеров глубины впадин шероховатости располагаются в интервале от 0,7 до 1,8 мм и характеризуются средним значением 1,2 мм при стандартном отклонении 0,197 мм. При этом показатель водонасыщения асфальтобетона в контролируемом покрытии не выходил за пределы 0,5 - 3,5 % и составлял в среднем 1,9 %.



Рис. 49. Статистическое распределение глубины впадин шероховатости в покрытии ЩМА-15

Шероховатость устраиваемых покрытий из асфальтобетонов различных типов гранулометрии, приготовленных на основе щебня разной крупности, может изменяться в значительных пределах даже при сопоставимых показателях остаточной пористости и водонасыщения [42]. Плотности распределения показателей шероховатости покрытий в зависимости от состава асфальтобетона представлены на рис. 50.

По данным мониторинга, средняя глубина впадин шероховатости на участке покрытия из асфальтобетона типа А, приготовленного на щебне фракции 5-15 мм, составила 0,63 мм при стандартном отклонении - 0,168 мм.

В рамках этого типа мелкозернистой асфальтобетонной смеси только за счет повышения крупности щебня на 5 мм, т.е. при замене смеси А-15 на А-20, шероховатость асфальтобетонного покрытия увеличивается примерно на 0,3 мм.

Но гораздо более существенное повышение шероховатости было достигнуто при использовании щебеночно-мастичного асфальтобетона. Проведенные замеры показали, что покрытие из ЩМА характеризуется примерно в 1,8 более высокой шероховатостью по сравнению с покрытием, устроенным из асфальтобетонной смеси типа А той же крупности (рис. 50). Для ЩМА-15 она составила в среднем 1,2 мм, а для ЩМА-20 - 1,7 мм.

Соответствующие результаты были получены в Германии при измерении шероховатости асфальтобетонных покрытий методом профилограмм.

Графики сканирования поверхности покрытий приведены на рис. 51.

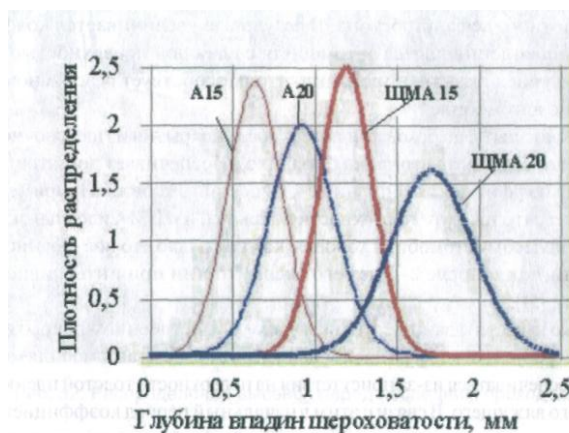


Рис. 50. Распределения глубины впадин шероховатости в зависимости от типа асфальтобетона и крупности щебня

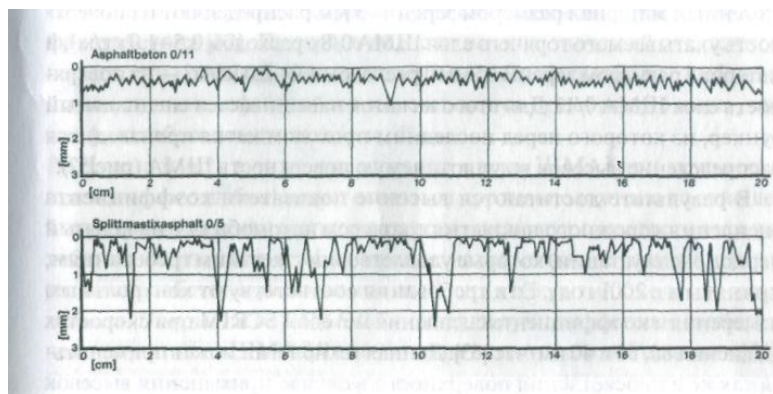


Рис. 51. Профилограммы поверхности АБ-11 и ЩМА-5

Даже в случае применения более мелкого щебня глубина впадин шероховатости на поверхности ЩМА оказалась выше, чем на поверхности плотного асфальтобетона.

В результате увеличивается коэффициент сцепления колеса автомобиля с влажной поверхностью и снижается риск аквапланирования, что способствует безопасному движению автомобилей.

Согласно опыту, шероховатая поверхность покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона, как правило, обеспечивает достаточно высокий коэффициент сцепления с колесом автомобиля.

Например, отмечалось, что текстура поверхности покрытий из ЩМА идеальная, и трение с колесом автомобиля хорошее как на только что построенном покрытии, так и после 2-3 лет его эксплуатации при интенсивном движении [51].

Однако известны данные, что на только что построенном покрытии из ЩМА требуемый коэффициент сцепления с колесом автомобиля может не обеспечиваться из-за присутствия на поверхности толстой пленки битумного вяжущего.

В связи с этим в начальный период коэффициент сцепления принято повышать специальной обработкой поверхности покрытия: на заключительном этапе уплотнения верхнего слоя перед катком распределяют каменные высевки [52].

Например, в Германии каменный материал размером зерен 1-3 мм распределяют на поверхность укатываемого горячего слоя ЩМА 0/8 с расходом $0,5-1,0 \text{ кг/м}^2$, и материал размером зерен 3-5 мм с расходом $1,0-2,0 \text{ кг/м}^2$ - на поверхность слоя ЩМА 0/11. Для этого на каток навешивается специальный бункер, из которого перед последним проходом катка производится распределение высевок на уплотняемую поверхность ЩМА (рис. 52).

В результате достигаются высокие показатели коэффициента сцепления дорожного покрытия с колесом автомобиля в начальный период эксплуатации, которые удовлетворяют жестким требованиям, принятым в 2001 году.

Эти требования соответствуют контрольным измерениям коэффициента сцепления методом SCRIM при скоростях движения 80,60 и 40 км/час [53].

Данная технология может применяться также для осветления поверхности в случае применения высевок из продуктов дробления светлого камня.



Рис. 52. Распределение высевок перед последним проходом катка

Показатели коэффициента сцепления колеса автомобиля, замеренные установкой типа ПКРС-2 на различных участках асфальтобетонных покрытий, коррелируют с остаточной пористостью асфальтобетона [12].

Причем в области низких значений остаточной пористости коэффициенты сцепления колеса автомобиля с щебеночно-мастичным асфальтобетоном становятся существенно выше, чем с асфальтобетоном типа А (рис. 53).

Нужно иметь в виду, что влияние марки ЩМА (или крупности применяемого щебня) может оказаться противоположным по отношению к коэффициенту сцепления и показателю шероховатости асфальтобетонного покрытия.

Уменьшение максимального размера зерен в смеси способствует увеличению сцепления покрытия с колесом автомобиля.

Покрытия из ЩМА-0/8 показали лучшие сцепные свойства, чем покрытия из ЩМА 0/11 по данным источников из Германии [54].

Однако при этом в дождливую погоду соответствующее снижение шероховатости покрытия может привести к нежелательному эффекту аквапланирования быстро движущихся автомобилей и к увеличению водяного аэрозоля над проезжей частью дороги

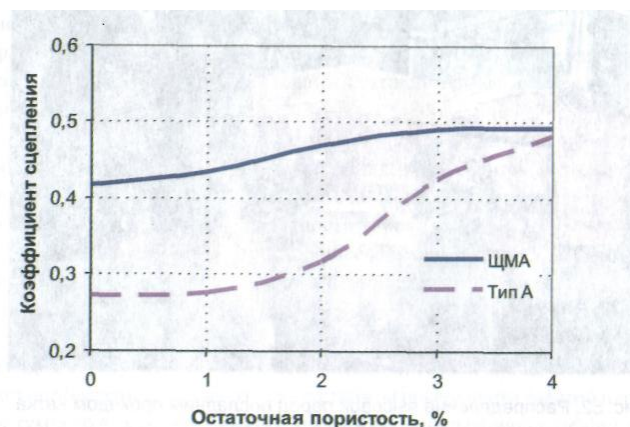


Рис. 53. Корреляция коэффициента сцепления и остаточной пористости асфальтобетонных покрытий

В процессе эксплуатации поверхность покрытий изнашивается, выступающие грани щебня шлифуются, коэффициент сцепления с колесом автомобиля постепенно снижается. Поэтому при любом способе устройства шероховатых покрытий необходимо соблюдать повышенные требования к свойствам каменных материалов.

Щебень должен быть изготовлен из горных пород, обладающих износостойкостью, и иметь кубовидную форму, должен быть прочным, трудно шлифуемым и не иметь загрязняющих примесей; содержание частиц лещадной формы должно быть ограничено; щебень должен обладать хорошо выраженной шероховатостью естественного скола (собственная шероховатость), поэтому предпочтение следует отдавать горным породам зернистой кристаллической структуры и породам, способным оставаться шероховатыми за счет содержания разнотвердых минералов [49].

Важное значение имеет характеристика шлифуемости щебня, под которой понимается характер изменения шероховатости материала при шлифовании, изнашивании его под колесом автомобиля [55].

Давление в сочетании с проскальзыванием шины по поверхности покрытия обуславливает шлифовку выступов шероховатости. Роль абразива при этом выполняют частицы песка и пыли, обычно присутствующие на поверхности покрытия.

Чтобы шероховатость дорожных покрытий сохранялась как можно дольше, необходимо применять каменные материалы с устойчивой в процессе эксплуатации собственной шероховатостью, параметры которой определяются петрографическими и физико-механическими свойствами исходных горных пород.

Наиболее устойчивый коэффициент трения имеют каменные материалы из горных пород с размером кристаллов 0,3-3,0 мм, содержащих минералы разной микротвердости [55].

Чем яростнее шероховатость поверхности покрытия, тем ускоренней происходит шлифовка каменного материала.

На мелкошероховатой поверхности число выступов на единицу площади больше и соответственно давление на каждый из них от колес автомобилей меньше, что замедляет процесс шлифования. Причем шлифуемость мелких зерен каменного материала (например, 2-5 мм) оказывает более сильное влияние на коэффициент сцепления, чем крупных зерен (например, 5-8 мм), что было установлено лабораторными испытаниями поверхности образцов щебеночно-мастичного асфальтобетона по Венеру-Шульцу [54].

4.5. Другие преимущества покрытий из ЩМА

Как уже отмечалось, щебеночно-мастичный асфальтобетон способствует снижению уровня шума от автомобильного движения.

По результатам сравнительных измерений на опытных участках покрытий автомагистралей Иннеталь, проводившихся в 1995-1996 годах, уровень звукового давления при применении ЩМА снизился в среднем на 4,5 дБ по сравнению с допустимым значением [54].

При строительстве покрытий с крупной шероховатостью поверхности применение ЩМА, по сравнению с другими асфальтобетонами, существенно снижает уровень шума.

Поверхности покрытий из ЩМА характеризуются низким бликующим эффектом и резким уменьшением количества брызг за движущимся транспортным средством в пасмурную погоду. Высокая шероховатость поверхности ЩМА по сравнению с обычным асфальтобетоном позволяет большему количеству воды «скрыться» внутри текстуры поверхности и естественным образом за счет поперечного уклона сойти на обочину, а не разливаться по поверхности в виде сплошной водяной пленки и луж [38]. Отсюда меньшая возможность возникновения бликов от освещения фар, отсутствие брызг и лучшая обзорность дорожной разметки.

Срок службы покрытий зависит не только от достигнутых эксплуатационных показателей, но и от их стабильности во времени.

Как известно, любые битумные материалы подвержены процессам старения, что во многом определяет срок службы дорожных конструкций.

Из опыта известно, что ускоренное старение асфальтобетонных смесей и асфальтобетона происходит в том случае, если толщина пленок битума меньше чем 9-10 микрон, а остаточная пористость уплотненной смеси достигает 6-8 % и более [55].

В этом отношении щебеночно-мастичный асфальтобетон обладает благоприятными свойствами и характеризуется высокой устойчивостью к старению.

Так, на стадии приготовления смеси большое влияние на кинетику старения битума при высоких температурах оказывает толщина битумной пленки на поверхности минеральных материалов, которая у ЩМА является максимальной.

С увеличением толщины битумных прослоек снижается скорость диффузии в них кислорода и существенно замедляются процессы старения, что особенно важно для склонных к старению окисленных битумов [16].

В уплотненном состоянии ЩМА характеризуются малой величиной остаточной пористости, что позволяет рекомендовать их как менее водопроницаемые для гидроизоляционных покрытий мостовых сооружений.

Отличительной особенностью щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавкой целлюлозного волокна является присутствие в его составе «объемного» битума.

В связи с этим была выдвинута гипотеза, что специфические реологические свойств асфальтового вяжущего, способного к большей текучести и диффузии в эксплуатационном диапазоне температур, способствуют его перераспределению в межзерновом пространстве сформировавшегося щебеночного остова после уплотнения покрытия, вследствие чего проявляется эффект «самозалечивания» дефектов.

Для проверки гипотезы был проведен следующий эксперимент в процессе научно-технического сопровождения строительства покрытия из ЩМА.

По результатам приемочного контроля специально были выделены места с повышенными показателями водонасыщения покрытия. Лунки от высверленных кернов были помечены, чтобы точно в том же месте взять для повторного исследования через определенный промежуток времени новые керны. Повторный отбор образцов производился примерно через 3 месяца. Результаты контроля плотности покрытия, представленные на рис. 54, указывают на доуплотнение ЩМА, причем в течение достаточно короткого промежутка времени.

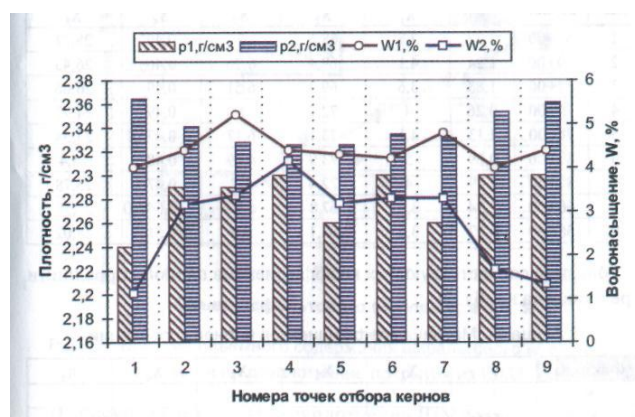


Рис. 54. Изменение плотности и водонасыщения ЩМА в покрытии

Из диаграммы следует, что величины изменения характеристик уплотнения покрытия в различных местах отбора кернов отличаются между собой. Поэтому интересно было установить факторы, определяющие этот процесс, в том числе влияние конкретного состава ЩМА в образцах-кернях.

Для корреляционного анализа были определены следующие параметры: толщина слоя покрытия (X_1) содержание щебня в % по массе (X_2), содержание битума в % по массе (X_3), отношение содержания битума к минеральному порошку (X_4) и объемное содержание асфальтового вяжущего вещества (X_5).

В качестве выходного параметра (Y) приняли величину изменения показателя водонасыщения, вычисленную по разности значений водонасыщения в кернах, отобранных в начале и в конце эксперимента. Результаты испытаний приведены в табл. 20.

Таблица 20. Экспериментальные данные испытаний кернов

№ кер-нов	Места отбора кернов	$\Delta W, \%$	Толщина слоя, см	Щебень, % массы	Битум, % массы	Бит/МП	Объем асф. вяж.
		Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	52+00	2,87	3,7	68,6	7	0,49	28,77
2	60+00	1,24	4,1	69,4	6,26	0,46	26,43
3	63+00	1,83	3,6	69,3	6,51	0,49	26,66
4	75+00	0,26	4	72,7	6	0,49	24,27
5	78+00	1,13	4,1	73,1	6,17	0,47	25,54
6	80+00	0,89	5	73,9	6,19	0,48	25,4
7	82+60	1,49	4	72,4	6,2	0,47	25,78
8	60+00	2,34	3,6	67,8	6,98	0,54	27,58
9	56+00	3,07	3,5	68,1	6,9	0,51	28,02

Матрица соответствующих коэффициентов парной корреляции представлена в табл. 21.

Таблица 21. Матрица коэффициентов парной корреляции

Факторы	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	- 0,6656	1				
X_2	- 0,8204	0,79079	1			
X_3	0,9441	- 0,6466	- 0,8641			
X_4	0,5354	- 0,5148	- 0,5880	0,71757	1	
X_5	0,9651	- 0,6040	- 0,8585	0,9520	0,4743	1

Выявленные статистически значимые коэффициенты парной корреляции показывают, что состав щебеночно-мастичного асфальтобетона влияет на способность к «самозалечиванию» пор в верхнем слое покрытия.

Наибольшее влияние на изменение плотности и водонасыщения покрытия оказывает объемное содержание асфальтового вяжущего в кернах, которое вычисляли как отношение суммы объема битума и минеральных зерен мельче 0,071 мм к объему уплотненного асфальтобетона.

Влияние объема асфальтового вяжущего вещества на уменьшение показателя водонасыщения в течение заданного промежутка времени представлено на рис. 55.

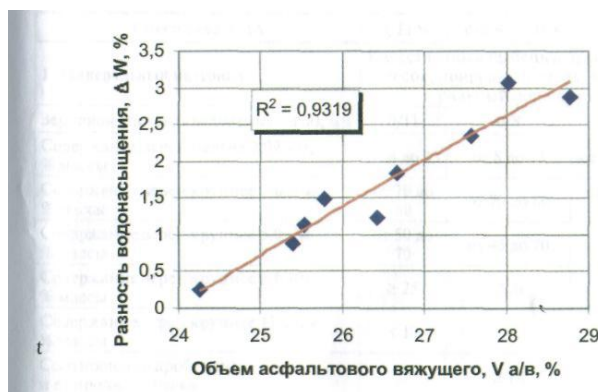


Рис. 55. Влияние объемного содержания асфальтового вяжущего вещества на доуплотнение покрытия из ЦМА

Из рисунка следует, что доуплотнение ЦМА проявляется при объемном содержании асфальтового вяжущего вещества более 24 %.

Причем, чем больше объем асфальтового вяжущего, тем значительно снизилось водонасыщение асфальтобетона.

Таким образом, полученные экспериментальные данные указывают на дополнительную особенность ЦМА - возможность его доуплотнения в течение короткого срока эксплуатации покрытия.

Предположительно этот эффект связан с «самозалечиванием» дефектов и пор, т.е. является положительным.

Установлен структурный критерий этого эффекта, который позволяет обосновать минимальное содержание битумного вяжущего в проектируемом составе щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси.

МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

5.1. Обзор зарубежных стандартов на материал

Первый стандарт на щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси был разработан в Германии. Технические требования к смесям и асфальтобетону, регламентированные на протяжении многих лет немецкими нормами ZTV-StB [58], приведены в табл. 22.

Таблица 22. Требования к щебеночно-мастичному асфальтобетону по нормам ZTV Asphalt-StB 01

Смеси типа SMA	0/11 S	0/8 S	0/8	0/5
1. Минеральный материал	Качественный щебень и дробленый песок, природный песок, минеральный порошок			
Зерновой состав (квадратные сита), мм	0/11	0/8		0/5
Содержание зерен мельче 0,09 мм, % массы	от 8 до 13	от 8 до 13		от 8 до 13
Содержание зерен крупнее 2,0 мм, % массы	от 70 до 80	от 70 до 80		от 60 до 70
Содержание зерен крупнее 5,0 мм, % массы	от 50 до 70	от 45 до 70		≤ 10
Содержание зерен крупнее 8,0 мм, % массы	≥ 25	≤ 10		-
Содержание зерен крупнее 11,2 мм, % массы	≤ 10	-		-
Соотношение дробленого и природного песка	≥ 1:1			
2. Вяжущее				
Марка вяжущего	В 65	В 65	В 80	В 80 (В 200)
Содержание битумного вяжущего, % массы	от 6,5 до 7,5			от 7 до 8
3. Стабилизирующие добавки				
Содержание в смеси, % массы		от 0,3 до 1,5		
4. Смеси (образцы по Маршаллу)				
Температура уплотнения, °C	135 ± 5			
Остаточная пористость, %	от 2,0 до 4,0			
5. Слои				
Толщина слоя, см	от 2,5 до 5,0	от 2,0 до 4,0		от 1,5 до 3,0
Расход смеси, кг/м ²	от 60 до 125	от 45 до 100		от 35 до 75
Степень уплотнения, %	≥ 97			
Остаточная пористость, %	≤ 6,0			

В последние годы доля применения щебеночно-мастичных асфальтобетонов для устройства верхних слоев дорожных покрытий с шероховатой поверхностью неуклонно увеличивается.

Асфальтобетонные смеси типа SMA (в английской транскрипции "Stone Mastic Asphalt" и в американской "Stone Matrix Asphalt") завоевывают все большую популярность при устройстве верхних слоев дорожных покрытий не только в Европе, но и на других континентах.

При условии одинаковой крупности применяемого щебня зерновые составы смесей SMA (ЩМА), нормируемые в технических условиях различных стран, оказываются достаточно близкими между собой.

Однако по крупности используемого щебня они различаются иногда существенно.

Например, нормами Финляндии [15] предусматриваются смеси ЩМА-20, которые содержат в два раза более крупный щебень, чем смеси ЩМА-0/11 по нормам Германии [58]. Более того, на практике имели место случаи устройства верхнего слоя дорожного покрытия из щебеночно-мастичных смесей с максимальной крупностью щебня 32 мм, что обосновывалось большей устойчивостью крупнозернистых смесей к истирающему действию металлических шипов шин, применяемых в зимний период эксплуатации автомобилей.

По нормам же Германии, вначале допускалось добавление природного песка при приготовлении смесей ЩМА, но в соотношении не более чем 1:1с дробленным песком (табл. 22).

В большинстве стран принято маркировать ЩМА по максимальной крупности зерен щебня, входящего в состав смеси.

Примечательно, что в проекте европейских норм prEN 13108-6 на щебеночно-мастичный асфальтобетон представлен практически весь диапазон смесей по крупности, который применяется в дорожном строительстве [5].

Таблица 23. Сведения о применяемых смесях ЩМА в различных странах.

[illegible]

При устройстве тонких слоев износа обычно применяются смеси с максимальной крупностью минеральных зерен 5 мм, однако европейские нормы допускают использовать в смесях ЩМА как более крупные, так и более мелкие продукты дробления горных пород с максимальным размером зерен до 4 мм.

В стандартах большинства стран присутствуют щебеночно-мастичные смеси с максимальным размером зерен щебня 8 мм, определяемым просеиванием проб на квадратных ситах.

На втором месте по распространенности стоит марка ЩМА 0/11. В Скандинавских странах более популярны крупнозернистые смеси с максимальной крупностью зерен щебня от 16 до 22 мм, как более устойчивые к истирающему действию шипованных шин.

В большинстве стран принято нормировать не только зерновые составы, но и содержание битума в ЩМА. Предельные кривые зерновых составов минеральной части, регламентированные в различных странах при сопоставимой крупности зерен применяемого щебня, согласуются между собой, хотя размеры ячеек контрольных сит, принятые в национальных стандартах, как правило, различаются.

Тем не менее, поданным института Шелленберга (Германия), соотношение фракций минеральных зерен в смеси, соответствующее первоначальной кривой зернового состава ЩМА по доктору Цихнеру, является более предпочтительным, так как обеспечивает наибольшую долговечность устраиваемых покрытий.

Учитывая специфическую необходимость удерживать в смесях ЩМА большой объем битума, были разработаны специальные методы испытания на отслоение вяжущего, например, метод «антикапания» [60, 61].

Эти методы испытания горячих щебеночно-мастичных смесей применяют при выборе эффективных стабилизирующих добавок, а также при проектировании составов.

В измененном виде метод испытания смеси на стекание битумного вяжущего по Шелленбергу включен в ГОСТ 31015-2002 и применяется при подборе состава и контроле качества выпускаемой смеси.

При проектировании составов ЩМА чаще всего ориентируются на нормы остаточной пористости образцов, изготовленных по методу Маршалла, однако в последнее время многие страны переходят на уплотнение образцов в приборах вращательного уплотнения.

Нормы к остаточной пористости образцов Маршалла предъявляются в стандартах Германии, Венгрии, Испании, Италии, Нидерландах, Норвегии, Чехии, Индонезии и других стран. Требования к показателям устойчивости по Маршаллу, условной пластичности и условной жесткости предъявляются в Чехии, Италии, Норвегии, Индонезии и в других странах.

Причем наиболее высокие требования к показателю устойчивости по Маршаллу установлены в Италии и самые низкие - в Норвегии, что соразмерно различным климатическим условиям этих стран. Численные значения нормируемых значений показателей свойств ЩМА по Маршаллу приведены в табл. 24.

Таблица 24. Требования к показателям свойств ЩМА по Маршаллу

Показатели по Маршаллу	Индонезия	Норвегия	Чехия	Италия
Устойчивость при 60 °С, (кг), не менее	800	600 (450)	600	1300
Условная пластичность, мм	2-4	1,5-4,0 (4,6)	3,0-4,5	
Жесткость по Маршаллу, кН/мм	1,9-3,0	> 1,6 (2,3)		не менее 2,0
Примечание. В скобках указаны требования к показателям свойств ЩМА при среднегодовой интенсивности движения менее 15 тыс. авт./сут.				

В последнее время в ряде стран были введены новые требования к показателям сдвигоустойчивости, определяемым при тестировании асфальтобетона на образование колеи от заданного числа проходов колесной нагрузки, а также менее трудоемким методом сжатия цилиндрических образцов циклической нагрузкой (крипп-тестом).

Иногда механические свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона вообще не нормируются.

В то же время во Франции, кроме устойчивости к колееобразованию, введены требования к комплексному модулю упругости (не менее 5400 МПа), показателю усталости и коэффициенту компрессионного вдавливания (не менее 0,8).

Требования к коэффициенту уплотнения устраиваемых покрытий из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси в большинстве стран мира не предъявляются. Браковочным признаком обычно является остаточная пористость образцов - кернов, отбираемых из окончательно уплотненного слоя покрытия.

Но в некоторых странах вычисляют степень уплотнения слоя по отношению к плотности образцов, сформированных из свежеприготовленной смеси по методу Маршалла.

Образцы Маршалла диаметром 100 мм уплотняют ударами трамбовки - 50 ударов на каждую сторону образца. Минимальный коэффициент уплотнения покрытия из ЩМА в Венгрии, Германии, Италии, Корее и Индонезии принят равным 0,97, а в Испании - 0,98.

Имеющиеся расхождения в зерновом составе минерального материала, количестве вяжущего и показателях физико-механических свойств ЩМА, регламентируемых требованиями разных стран, связаны с климатическими условиями и различиями в максимально разрешенной нагрузке на оси автомобилей. По этой же причине в составах ЩМА может применяться или битум или ПБВ.

Нормировать показатели свойств ЩМА важно, так как известны случаи нарастания дефектов на автомагистралях А 10 и А 13 с щебеночно-мастичными покрытиями [62], которые, по результатам проведенных обследований, объяснялись нарушениями при подборе составов смеси и технологии производства работ.

Соответственно это еще раз указывает на актуальность правильного проектирования и дальнейшего изучения работоспособности ЩМА в дорожных покрытиях.

5.2. Опыт устройства дорожных покрытий из ЩМА

В большинстве стран мира строительство дорожных покрытий с применением щебеночно-мастичного асфальтобетона развивается ускоренными темпами.

Щебеночно-мастичные смеси получили распространение в Скандинавских странах, Канаде, Австралии, а в последние годы - в США и Китае, причем постепенно они вытесняют другие типы асфальтобетонных смесей, предназначенные для устройства защитных и конструктивных слоев дорожных покрытий.

Например, в Австралии на участках автомобильных дорог с тяжелым и интенсивным движением, а также на пересечениях улиц, специально рекомендуется применять щебеночно-мастичный асфальтобетон вместо традиционно применяемого асфальтобетона «открытого» типа, как более долговечный и более устойчивый к интенсивным климатическим и транспортным воздействиям.

Обстоятельный анализ результатов использования ЩМА в США представлен в отчете NCAT [62].

Начиная с 1991 г., в США в качестве верхнего слоя дорожного покрытия в штатах Висконсин, Мичиган, Джорджия и Миссури были уложены первые участки ЩМА.

К 1997 году было претворено в жизнь уже более 100 проектов в 28 штатах и изготовлено свыше 3 млн. тонн щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей.

К лету 2002 года реализовано более 250 проектов и изготовлено свыше 15 млн. т смеси, а в штате Мэриленд, начиная с 1992 г., построено около 2250 км магистральных дорог с верхним слоем из смесей ЩМА. Данные смеси показали свои прекрасные эксплу-

тационные характеристики в Европе, поэтому следовало ожидать того же самого от их использования в США.

Федеральная Дорожная Администрация (FDA) заказала Национальному Центру Битумных Технологий (NCAT) проанализировать результаты использования ЩМА в США.

Исследование более 100 дорожных участков было начато в 1994 году и закончено в 1996 году в следующих штатах:

Аляска, Арканзас, Калифорния, Колорадо, Джорджия, Индиана, Канзас, Мэриленд, Мичиган, Миссури, Северная Каролина, Небраска, Нью Джерси, Огайо, Техас, Виржиния и Висконсин.

Были собраны данные по техническим условиям на материалы и смеси, а также проведено сравнение некоторых эксплуатационных характеристик, таких как подверженность к образованию колеи, трещиностойкость, неровности и выступание битумных пятен на поверхность покрытия.

Установлено, что щебеночно-мастичные смеси могут быть приготовлены без особых проблем, как в циклических смесителях, так и в установках непрерывного действия.

В большинстве проектных составов в качестве стабилизирующих добавок для предотвращения стекания вяжущего использовались свободные целлюлозные волокна, которые в необходимой пропорции подавались в смеситель.

В некоторых случаях применялись гранулированные стабилизаторы на основе целлюлозных волокон. Полимерные модифицирующие добавки обычно предварительно вводили в битум, и только затем приготовленное вяжущее поступало в асфальтобетонный смеситель.

Подбор составов смесей производился по Маршаллу при уплотнении образцов 50 ударами трамбовки. Первые составы ЩМА (1991-1993 гг.) имели остаточную пористость 3,5 % и менее, а более поздние смеси (1994-1996 г.г.) - ближе к 4 %.

В рассматриваемых проектах использовался исключительно дробленый щебень.

Авторы отчета предполагают, что это была одна из основных причин, почему ЩМА демонстрирует хорошие характеристики.

Смеси ЩМА в 90-95 % случаях имели 25-35 % зерен каменного материала, проходящих через сито 4,75 мм и 7-11 % материала, проходящего через сито с размером отверстий 0,075 мм. Содержание щебня в используемых смесях постепенно увеличивалось.

Например, процент каменного материала, проходящего через сито 4,75 мм, уменьшился с 34 % в 1991 г. до 25 % в 1996 г.

Частично это было связано с тем, что результаты исследований показали, что для большинства смесей количество каменного материала, прошедшего через сито с размером отверстий 4,75 мм, должно быть менее 30 % для получения, с одной стороны, необходимого каменного каркаса, а с другой стороны, чтобы обеспечить минимальную рекомендуемую величину пористости минеральной части (ПМЧ).

Пористость минеральной части ЩМА более чем в 90 % случаев составляла от 15 до 20 % (при минимальном рекомендуемом значении в 17 %).

Анализируя тенденцию изменения значений ПМЧ в период 1991-1996 гг., можно отметить, что первые два года этот показатель был выше, затем на третий год он снизился, а после 1993 г. вновь стал увеличиваться.

Такую картину можно объяснить тремя основными факторами.

В первых проектах рекомендовалось применение очень прочного щебня, который не разрушался во время лабораторного уплотнения образцов, что способствовало увеличению значения ПМЧ.

Вторым фактором является уменьшение количества вяжущего для увеличения остаточной пористости, что приводит к уменьшению значения пористости минеральной части асфальтобетона.

И последним фактором, влияющим на значение ПМЧ, является уменьшение количества каменного материала, проходящего через сито с размером отверстий 4,75 мм.

Из числа рассматриваемых проектов в 65 % случаев содержание битума было установлено в размере 6 % от массы смеси. Если же установить пределы по ПМЧ, то необходимость в нормировании содержания битума отпадает. Заметим, что такой подход принят в стандартах на асфальтобетон в России.

Обычно смеси ЩМА на дорогах США уплотнялись до 5-7 % остаточной пористости. Тем не менее, встречались проекты, имеющие окончательную величину остаточной пористости более 7 % или менее 5 % (приблизительно по 30 % от числа проектов).

В отчете NCAT [65] было отмечено следующее:

- Смесь ЩМА имеет большое количество дробленого щебня и клейкое вяжущее, что делает ее тяжелой для ручной работы, но благодаря большому количеству вяжущего она выходит из-под укладчика идеально ровной, и уплотнение не представляет особых проблем.

- Расслоение не является характерной особенностью для смесей ЩМА. Если у плотных смесей существует тенденция к разделению крупных и мелких зерен щебня при загрузке-выгрузке, то в смесях ЩМА сегрегация не заметна. Только на небольших локальных площадях, когда теряется связь между крупными зернами каменного материала, на поверхности покрытия могут образовываться битумные пятна.

В этом случае некоторое количество щебня выходит из смеси и количество битума начинает превышать критическую величину, а значение ПМЧ в уплотненном слое становится недопустимо малым.

Как правило, небольшие битумные пятна на поверхности покрытия из ЩМА не представляют собой каких-либо проблем. В тех же случаях, когда они были чрезмерно велики, покрытие заменяли новым. Многие из покрытий, в которых в качестве вяжущего использовался битум с добавками полимеров, имели небольшие, диаметром 50 мм, битумные пятна.

Смесь с модифицированным битумом по какой-то причине расслаивается под выравнивающей плитой асфальтоукладчика, и после уплотнения на поверхности покрытия выступают битумные пятна.

- Появление битумных пятен может быть вызвано несколькими причинами: малым количеством стабилизирующей добавки целлюлозы, большим количеством вяжущего, недостаточным объемом мелкого щебня (отсева), чрезмерно высокой температурой смеси и повышенной влажностью основания.

Для предотвращения стекания вяжущего в смесях ЩМА применяют в качестве стабилизатора добавку целлюлозного волокна и, если дозирующая система их подачи в смеситель работает с высокой погрешностью, то вероятность подачи недостаточного количества стабилизатора будет велика.

В случае использования свободных волокон их повышенная влажность приводит если не к невозможности, то к затрудненной подаче их в смеситель. Любая остановка (даже на несколько секунд) в подаче стабилизатора вызовет появление битумных пятен на поверхности устраиваемого дорожного покрытия.

- Смесей ЩМА восприимчивы к содержанию минерального материала, прошедшего через сито с размером отверстий 4,75 мм. При увеличении процента материала, прошедшего через данное сито, существенно уменьшается величина ПМЧ, т.е. если в гранулометрическом составе смеси начинают преобладать мелкие частицы, то они в уплотненной смеси уменьшают остаточную пористость, что также способствует появлению битумных пятен.

- При укладке ЩМА на влажную поверхность избыток влаги, соединяясь с горячей смесью, вызывает выпаривание и, как следствие, отслоение битума от минерального материала. При этом высвободившийся битум выходит на поверхность под воздействием уплотняющего действия вальцов катка.

В США обследовали участки покрытий из ЩМА, уложенные, в основном, на старый асфальтобетон, имеющий различные дефекты, в том числе продольные и поперечные трещины.

Тем не менее, на обследуемых участках после реставрации полотна были обнаружены только отраженные поперечные трещины при полном отсутствии других. Все отмеченные трещины были узкими и не имели разветвлений. Этот результат был достигнут за счет применения большого количества битума и использования целлюлозных волокон в ЩМА.

Все участки обследовались на наличие колеи. Примерно 90 % из них имели глубину колеи менее 4 мм, около 65 % - менее 2 мм, а порядка 25 % абсолютно не имели колеи.

И только на четырех участках были обнаружены колеи глубиной более 6 мм. Эти покрытия характеризуются низкой остаточной пористостью и большим процентом минерального материала, прошедшего через сито с размером отверстий 4,75 мм. По мнению авторов отчета, показатель устойчивости к образованию колеи у щебеночно-мастичного асфальтобетона достаточно высок.

В заключение авторы отчета суммировали опыт применения ЩМА в США и сделали следующие выводы:

- от 50 до 60 % изученных проектов удовлетворяло рекомендациям, по которым в зерновом составе ЩМА через сито 4,75 мм должно проходить 20-28 % минерального материала;
- примерно 50 % проектов соответствовало рекомендациям, по которым через сито 0,075 мм должно проходить 8-10 % минерального порошка;
- примерно 40 % проектов имели остаточную пористость менее 3 %;
- примерно в 60 % проектов содержание вяжущего в смеси составляло более 6,0 %;
- более 90 % проектов имели небольшую колею в покрытии глубиной менее 4 мм. В 25 % покрытий колея полностью отсутствовала;
- изготовление продольного шва при устройстве покрытия вызывало определенные трудности, однако с появлением опыта в укладке ЩМА продольные швы получались с прекрасной текстурой;
- образование в покрытии трещин (температурных и отраженных) не вызывает особых проблем. ЩМА является более стойким к образованию трещин, чем обычный асфальтобетон. Прежде всего, это связано с большим количеством вяжущего, которое образует более толстую пленку вокруг зерен каменного материала;
- в покрытиях не отмечено образование паутинообразных трещин;
- единственной проблемой является появление битумных пятен на поверхности после уплотнения. Причинами их появления могут быть сегрегация смеси, стекание или повышенное содержание вяжущего, неправильно подобранный состав или недостаточное количество стабилизатора в смеси;
- ЩМА показал хорошие характеристики, особенно на дорогах с интенсивным транспортным потоком. Увеличенная стоимость смеси с лихвой компенсируется улучшением эксплуатационных характеристик и, как следствие, долговечностью дорожных покрытий в условиях США.

Анализируя динамику применения ЩМА в Западной Европе, можно отметить постепенный переход к устройству тонких защитных слоев покрытий.

Это согласуется с современной тенденцией проектирования долговечных дорожных одежд нежесткого типа с периодически заменяемыми слоями износа [64]. Для устройства тонких слоев износа рекомендуется, как правило, применять смеси с гранулометрией 0/5 и 0/8 мм [65].

Наблюдения показали, что тонкие слои, устроенные из горячей щебеночно-мастичной смеси, после шести лет эксплуатации имели более высокие эксплуатационные показатели качества (ровность, шероховатость, водонепроницаемость) по сравнению с

тонкими слоями из холодной эмульсионно-минеральной смеси [65]. Щебеночно-мастичный асфальтобетон успешно зарекомендовал себя и при ремонте цементобетонных покрытий на автомагистралях Баварии [56].

Тонкие слои износа из щебеночно-мастичного асфальтобетона с гранулометрией 0/6 и 0/3 мм укладывают и в Нидерландах [63]. На протяжении многих лет правительство этой страны не регламентировало требования к смесям для верхних слоев городских улиц, поэтому администрация г. Бреда самостоятельно разработала спецификации смесей для верхнего слоя износа, взяв за основу ЦМА.

В 1986 г. по германской технологии были построены первые участки покрытий из этих смесей. Они были признаны удовлетворительными, и даже после более чем 11 лет интенсивной эксплуатации отлично выглядят. Участки ЦМА-0/8 и 0/11, уложенные позже, также находятся в хорошем состоянии.

Принимая во внимание хорошее состояние покрытий из ЦМА-0/8 и ЦМА-0/11, интересно было узнать, как они могут использоваться при капитальном ремонте дорог.

Детальное обследование этих участков покрытий с учетом данного вопроса дало следующие результаты:

- на последующие 15 лет дорожные конструкции обладают достаточным запасом несущей способности;
- продольные и поперечные профили покрытий были более или менее нормальными;
- устройство слоя износа толщиной более двух-трех см становится экономически невыгодным, т.к. при этом приходится снимать старое покрытие на большую глубину.

Исходя из проведенного анализа, смесь ЦМА-0/6 признана наиболее экономически обоснованной и была использована для устройства слоя износа. После 10 лет интенсивной эксплуатации были сделаны следующие выводы о том, что покрытие:

- достаточно долговечно в условиях интенсивного движения транспортных средств;
- хорошо противостоит погодным условиям и устойчиво к образованию трещин при низких отрицательных температурах и переходах через 0 °С;
- обладает хорошей влагостойкостью и сцеплением с нижележащим слоем.

Кроме того, различие в толщине устраиваемого слоя износа с позиции обеспечения его ровности можно допускать в широких пределах, указанных в табл. 25.

Таблица 25. Свойства защитных слоев из ЦМА-0/6 в г. Бреда

Показатели	Проектные	Минимум	Максимум	Допуски
Толщина слоя, мм				
в новой конструкции		15	25	-
на старом покрытии		15	40	-
Остаток на сите, %				
5,6 мм	-	0,0	4,0	± 2,0
2,0 мм	67,5	62,5	72,5	± 7,0
0,063 мм	88,5	87,0	90,0	± 2,0
Содержание битума, %	8,0	-	-	± 0,5
Целлюлозные волокна, %		0,2	0,3	-

В дополнение к смеси ЦМА-0/6 возможно использовать для устройства слоя износа смесь ЦМА 0/3. Она была спроектирована для покрытия асфальтовых дорог, проходящих в городах и сельской местности.

Когда дороги находятся в хорошем состоянии, но нуждаются в некотором улучшении поверхностных эксплуатационных характеристик, рекомендуется применять тонкие слои из ЦМА 0/3.

Для приготовления данной смеси берут мелкую фракцию дробленого каменного материала размером от 1 до 3 мм (72 %), природный песок (18 %) и битумное вяжущее (9 %) с добавлением известнякового минерального порошка (10 %). Несмотря на небольшой размер каркасных зерен, полученный продукт имеет явно выраженные характеристики ЩМА.

При нормальных условиях смесь укладывается толщиной 1,5-2 см, но при определенных условиях возможно получение сверхтонкого слоя 1 см. Также возможна укладка слоя с изменяющейся толщиной от 1 до 3,5 см на небольших площадях без видимых неровностей поверхности.

Поэтому, по сравнению с традиционной поверхностной обработкой и эмульсионно-минеральными смесями, смесь ЩМА 0/3 может применяться в определенных пределах для исправления продольного и поперечного профиля дороги.

Отмечается, что ЩМА 0/3 долговечен, имеет высокое содержание вяжущего и хорошее сцепление с нижележащим слоем.

Благодаря структуре каменного каркаса, данная смесь стабильна, и ее можно укладывать на дорогах с невысокой интенсивностью движения.

Текстура поверхности устраиваемого покрытия обеспечивает хорошее сцепление с колесом автомобиля и сильно снижает уровень шума.

При скорости движения транспортного потока 50 км/час уровень шума снижается по сравнению с обычным асфальтобетоном 0/16 на 1,5 дБ, а по сравнению с поверхностной обработкой - на 3 дБ. Еще одним преимуществом ЩМА 0/3 является скорость укладки смеси, когда за короткий промежуток времени требуется перекрыть большую площадь.

Также возможна ее укладка на неподготовленные поверхности ремонтируемых покрытий, достаточно бывает только небольшой фрезеровки краев дорожного полотна.

В дополнение к сказанному выше, ЩМА 0/3 имеет преимущество и в экономическом плане. Для приготовления смеси требуется меньше материала, чем для устройства поверхностной обработки. Благодаря этому, данная смесь имеет очень привлекательное соотношение цена / качество.

5.3. Примеры использования ЩМА в аэропортах

Использование щебеночно-мастичного асфальтобетона в качестве покрытий аэродромов пока не столь распространено в мире, как применение в верхних слоях покрытий автомобильных дорог. Традиционно покрытия на взлетно-посадочной полосе (ВПП) и рулежных дорожках устраивают из обычного асфальтобетона слоем не менее 50 мм.

В последнее время для увеличения долговечности укладываемых слоев стали интенсивно применять различного рода модификаторы и полимерно-битумные вяжущие.

Тем не менее, ЩМА используется в качестве верхнего слоя покрытия в аэропортах уже на протяжении 15 лет, начиная с Норвегии и далее - в Швеции, Германии, Австрии, Бельгии, Англии и Ирландии. В последние годы данное покрытие нашло применение в аэропортах Азии и Австралии, и сейчас ЩМА в качестве покрытия в аэропортах применяется в более чем 15 странах.

Норвегия является первой страной, где ЩМА стали широко использовать при строительстве покрытий в аэропортах. В этой стране более 50 ВПП с регулярным движением, 19 международных аэропортов с ВПП длиной более 1600 м и 32 местных аэропорта с длиной ВПП 800 м. Норвежская Государственная Авиационная Администрация (NSAA) несет ответственность за регулярное обслуживание данных аэропортов, т. е. за более чем 8 млн. м² асфальтобетонного покрытия.

В начале 70-х годов прошлого века практически все ВПП в Норвегии были подвергнуты реконструкции для возможности приема нового поколения воздушных судов.

К 1988 году средний возраст ВПП составил 15 лет, и около 3,5 млн. м² покрытий было признано неудовлетворительными.

«Стандартной» смесью для покрытий в норвежских аэропортах в то время была асфальтобетонная с максимальным размером зерна 11 мм и содержанием битума 5,4 %.

Согласно рекомендациям НАТО, смесь была спроектирована с высокой устойчивостью по Маршаллу, чтобы покрытие оставалось прочным при нагрузке от военных транспортных самолетов с высоким давлением в шинах шасси.

Для увеличения устойчивости по Маршаллу пришлось применить более жесткий битум и уменьшить его содержание в смеси ($< 5,5\%$). К тому же Норвегия имеет континентальный климат: в пределах страны температура может колебаться от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ зимой до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ летом.

Показав прекрасные эксплуатационные характеристики, ЩМА стал применяться в аэропортах Норвегии с середины 90-х годов прошлого века. Для аэропорта Гардермоен в г. Осло он был выбран как вид покрытия, обеспечивающий необходимый отвод воды с поверхности и снижающий возможность аквапланирования в отличие от обычного асфальтобетона, который требует нарезки специальных дренажных канавок глубиной не менее 1 мм (согласно рекомендации Международной Ассоциации Пилотов).

Все проведенные эксперименты показали, что у ЩМА хорошие показатели коэффициента трения во влажном состоянии благодаря тому, что он имеет шероховатость глубиной 1,2-1,8 мм в зависимости от максимального размера щебня, температуры и однородности смеси в процессе уплотнения.

Начиная с 1992 г., 15 ВПП в Норвегии были перекрыты ЩМА. В зависимости от климатических условий применялись различные марки битумных вяжущих и количество стабилизирующих добавок.

В Бельгии ЩМА нашел применение в местных аэропортах городов Антверпен и Остенд.

Кроме этого, ЩМА был уложен на нескольких аэродромах вооруженных сил Бельгии. Аэропорт г. Остенд имеет одну ВПП длиной 3200 м (площадь 84500 м^2) и в основном используется для фрахта воздушных судов от B747 до АН124.

В 1992-93 гг. первые 1400 м полосы построили из обычного асфальтобетона. Это было сделано еще до использования в Бельгии ЩМА.

В 1996 г. остальные 1800 м были построены с применением ЩМА 0/14. В аэропорту Антверпена имеется одна ВПП длиной 1500 м (площадью 67500 м^2), которая в основном используется для фрахта воздушных судов В 146. В 1996 г. она была полностью перекрыта смесью ЩМА 0/14.

Отмечено, что в обоих аэропортах покрытия ВПП имеют хорошие коэффициенты трения.

Тем не менее, в первые месяцы эксплуатации наблюдался более низкий коэффициент трения, чем в последующее время. Это связано с наличием более толстой битумной пленки на каменном материале, которая через некоторое время стирается. Бельгийские Вооруженные Силы продолжают применять ЩМА в качестве верхних слоев покрытий ВПП в аэропортах.

В Дании ЩМА был уложен в аэропорту г. Копенгагена на ВПП 04R-22L (длиной 3600 м и шириной 42 м) и на площадке для обработки воздушных судов антиобледенительными составами. Глубина текстуры покрытия, измеренная методом «песочного пятна», составила 0,64-0,70 мм.

В Германии ЩМА применялся только в нескольких аэропортах:

- г. Колгне - в местах парковок и обслуживания воздушных судов;
- г. Франкфурта - на рулежных дорожках и в местах обслуживания воздушных судов в районе терминала 1 (благодаря своей хорошей деформационной стойкости в процессе перемещений тяжелых самолетов). В июле 2005 г. закончена капитальная реконструкция «северной» ВПП с полной заменой цементобетона на асфальтобетон с верхним слоем из ЩМА-0/11 толщиной 40 мм;
- г. Мюенстера и Осанбруека - на небольших парковочных площадях.

В Нидерландах ЩМА использовался в качестве верхнего слоя покрытия в аэропорту г. Теуг.

В Австрии ЩМА был положен в аэропорту г. Инсбрука в качестве верхнего слоя покрытия рулежных дорожек. Толщина слоя - 40 мм.

В Англии ЩМА впервые уложили в аэропорту Норвик при ремонте запасной ВПП 04-22. Старое покрытие имело значительные повреждения. В качестве материала для его замены был предложен ЩМА, благодаря своим эксплуатационным характеристикам, удобоукладываемости и потенциальной стойкости против возникновения отраженных трещин.

Работы начались в ноябре 1996 года. Было запланировано снятие 1100 м² верхнего слоя покрытия на запасной ВПП, подвергавшейся в различное время некачественному ремонту.

Обнаруженные ниже дефектные участки были также заменены и сверху был уложен слой ЩМА толщиной 30 мм. При обследовании ВПП 04-22 через год был обнаружен незначительный износ поверхности из-за интенсивной эксплуатации во время замены 530 м на основной ВПП 09-27 и участка рулежной дорожки длиной 180 м.

По результатам эксплуатации ВПП 04-22 были изменены технические требования на применение ЩМА при устройстве верхних слоев покрытий ВПП.

Позднее ЩМА применили в аэропорту г. Прествика (Англия), в качестве верхнего слоя на второй ВПП 03-21. Она имеет длину 1850 м плюс 150 м полосы безопасности и используется для парковки тяжелых транспортных военных судов С 5 Галакси, а также MD 11.

Замеры коэффициента трения показали хорошие значения с тенденцией к улучшению.

В начале 1999 г. на ВПП аэропорта св. Ангела в г. Эннискиллоне, Северная Ирландия (площадью 40 тыс. м²), было уложено покрытие из ЩМА.

В Китае восточно-западная ВПП аэропорта Пекина имеет длину 3800 м и ширину 60 м. Она была построена в 1954 г., и к моменту реконструкции различные дефекты и трещины стали обычным явлением.

Для ремонта площади в 259 тыс. м² было изготовлено и уложено 120 тыс. т асфальтобетонных смесей. Перед укладкой нового покрытия старое бетонное основание отремонтировали. Все работы выполнялись с апреля по июнь 1996 г. Была запроектирована и построена следующая конструкция покрытия ВПП:

- нижний слой - асфальтобетон 0/25 толщиной 80 мм;
- средний слой - асфальтобетон 0/25 толщиной 70 мм;
- верхний слой - ЩМА 0/16 толщиной 60 мм.

В качестве вяжущего для среднего и верхнего слоя использовался модифицированный полимером (3 % СБС + 3,5 % ПЕ) битум.

В течение последних 10 лет при устройстве взлетно-посадочных полос более чем в 10 гражданских аэропортов Китая применяли ЩМА и получили хорошие результаты.

В расположенном на крайнем севере Австралии аэропорту г. Каирне ЩМА применялся в 1998 году. Данный аэропорт является шестым по величине в стране, имеет одну ВПП длиной 3197 м и общей площадью 600 тыс. м², из которых 75 % составляет асфальтовое покрытие.

Первые участки ЩМА были уложены в 1998 г. в местах парковки № 2 международного терминала и парковки № 19 терминала внутренних рейсов.

Применялись смеси ЩМА-0/10 и ЩМА-0/14. В мае 1999 г. работы по укладке смесей в местах парковок были продолжены.

В международном аэропорту г. Сиднея первый опытный участок из ЩМА-0/14 длиной 105 м, шириной 18 м и толщиной 50 мм был построен в мае 1999 г. на рулежной дорожке D. Содержание битумного вяжущего в смеси составляло 6,7 %. В 2001 г. было принято решение о постройке в аэропорту новых участков ЩМА.

Главное Управление ВВС США использовало ЩМА на военных аэродромах RAF Lakenheath (Великобритания), Aviano AB (Италия), Spangdahlem AB (Германия).

Полученный опыт показал, что ЩМА хорошо сопротивляется колееобразованию на рулежных дорожках и ВПП, где действует высокое давление шин военных воздушных судов. Более высокая стоимость смеси компенсируется низкими затратами на содержание и большей долговечностью покрытия.

Также считают, что рифление поверхности ЩМА не требуется, и решение не наносить бороздки давало значительную экономию устройства покрытий ВПП. В результате проекты с ЩМА предполагают применять на аэродромах ВВС США и в будущем.

5.4. Применение ЩМА в конструкциях мостового полотна

Щебеночно-мастичный асфальтобетон имеет хорошую перспективу использования на мостовых и других искусственных сооружениях благодаря таким свойствам, как:

- повышенная трещиностойкость и деформативность;
- возможность укладки тонкими слоями;
- ровность и высокий коэффициент сцепления;
- малая водопроницаемость.

Например, в Германии стандартное покрытие для мостовых сооружений с несущей плитой из цементобетона имеет конструкцию, где в качестве изолирующего и несущего слоя применяется литой асфальт, а в качестве верхнего слоя - ЩМА толщиной 4 см (рис. 56).

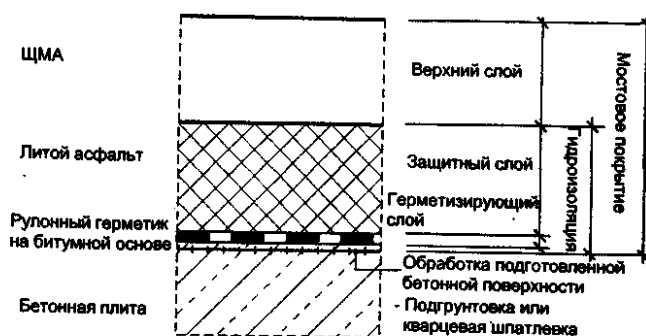


Рис. 56. Конструкция мостового покрытия на бетонной плите

Если же в качестве опорной является стальная плита, то покрытие устраивается по схеме согласно рис. 57.

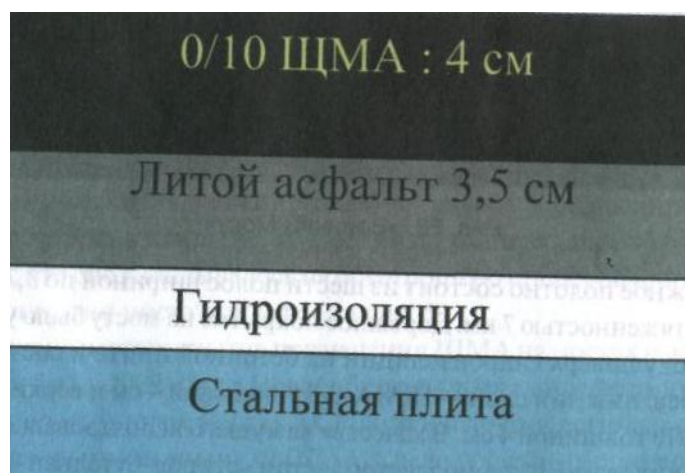


Рис. 57. Конструкция покрытия на стальной плите

В качестве примера устройства двухслойного покрытия из ЩМА можно привести «Великий Мост» в г. Сеохай (Южная Корея), общий вид которого показан на рис. 58.



Рис. 58. «Великий Мост»

Дорожное полотно состоит из шести полос шириной по 3,7 м каждая, протяженностью 7 км. Дорожное покрытие на мосту было уложено в 2000 году поверх гидроизоляции на бетонной плите и состояло из двух слоев: нижний слой - ЩМА-0/8 толщиной 4 см и верхний слой ЩМА 0/10 толщиной 4 см. В качестве вяжущего использовался битум, модифицированный термоэластопластом «стирол-бутадиен-стирол». Гранулометрические составы смесей, уложенных в слои покрытия, приведены в табл. 26 и табл. 27.

Таблица 26. Гранулометрический состав ЩМА-0/10

Размер сит	13 мм	10 мм	#4	#8	#30	#50	#100	#200
Спецификация	100	93-100	25-45	15-30	11-20	10-16	9-15	8-13
Фактический	100	97,4	28,0	20,5	16,1	13,6	11,9	10,4

Таблица 27. Гранулометрический состав ЩМА 0/8

Размер сит	13 мм	10 мм	#4	#8	#30	#50	#100	#200
Спецификация	100	100	30-60	15-30	12-20	10-16	9-15	8-13
Фактический	100	99,9	33,1	22,4	17,2	14,9	13,2	11,7

Свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов, уложенных в конструкцию покрытия моста, приведены в табл. 28.

Таблица 28. Показатели свойств ЩМА в покрытии «Великого Моста»

Наименование показателей	По спецификации		Фактические	
	ЩМА 0/10	ЩМА 0/8	ЩМА 0/10	ЩМА 0/8
Остаточная пористость (%)	2,0~4,0	2,0~4,0	2,6	2,5
Содержание битумного вяжущего (%)	Мин, 6,8	Мин, 7,2	7,1	7,4
Показатель стекания вяжущего (%)	Макс, 0,3	Макс, 0,3	0,109	0,139

Практически по такой же схеме и по тем же спецификациям в 2000 г. было построено покрытие на мосту в г. Гухайонгсан, с той лишь разницей, что оно укладывалось на ортотропную стальную плиту. Общий вид покрытия моста приведен на рис. 59.

Один из первых опытов применения ЩМА на мостах и эстакадах в России был в 2002 году в Новосибирске (подрядчик фирма «Фэцит»).

С тех пор на многих мостах в Сибири и в других регионах в верхних слоях покрытий применяли ЩМА.

Среди последних примеров - мост через р. Иртыш в Ханты-Мансийске и вантовый мост в Санкт-Петербурге на ортотропной стальной плите; мост через р. Волга в Ярославле и мостовой переход на Краснопресненской магистрали в Москве на бетонной и сталебетонной плите; новые ремонтные слои на мостах и путепроводах МКАД и улицах Москвы.

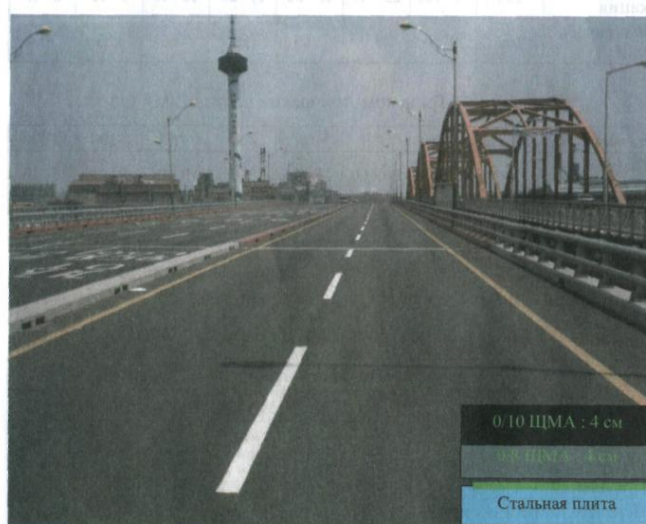


Рис. 59. Мост с покрытием из ЩМА в г. Гухайонгсан

Конструкция покрытия на всех мостах и эстакадах схожа и состоит из двух слоев асфальтобетона толщиной 5-7 см каждый.

В большинстве конструкций мостового полотна нижний слой выполняется из высокоплотного асфальтобетона или плотного типа Б. В Санкт-Петербурге в качестве нижнего слоя по гидроизоляции укладывался слой литого асфальтобетона на полимерно-битумном вяжущем толщиной 5 см.

Для верхнего слоя обычно применяется ЩМА-15 или ЩМА-20 толщиной 5-6 см, и только мост в городе Ханты-Мансийск имеет покрытие, состоящее из двух слоев ЩМА.

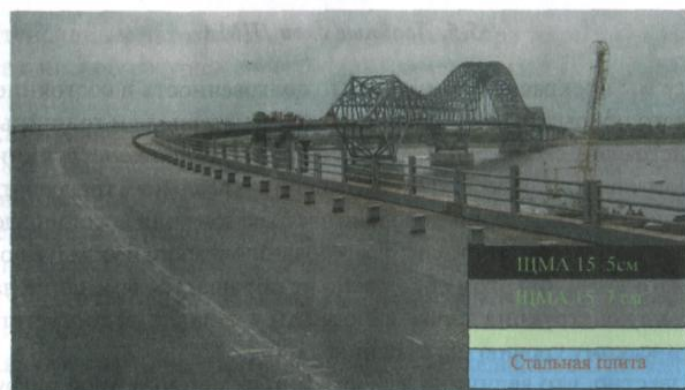


Рис. 60. Мост через р. Иртыш в г. Ханты-Мансийск

При проектировании покрытия на ортотропной стальной плите следует учитывать ее максимальные вертикальные перемещения во время эксплуатации.

При недостаточной жесткости плиты через короткий промежуток времени на поверхности покрытия над ребрами жесткости могут появиться трещины. Так, на вантовом мосту в Санкт-Петербурге примерно через 6 месяцев после укладки асфальтобетонного покрытия в верхнем слое образовалась продольная трещина (рис. 61).



Рис. 61. Продольная трещина вдоль балки моста

5.5. Двойные слои ЩМА

Все мы прекрасно понимаем, что долговечность и состояние дорожного покрытия зависят не столько от материала и толщины его верхнего слоя, сколько от правильно рассчитанной конструкции дорожного полотна, способной сопротивляться реальным транспортным нагрузкам.

К сожалению, довольно часто ремонт или восстановление дорожного полотна сводится к фрезерованию старого и укладке нового верхнего слоя, при этом абсолютно не обращается внимание на то, что сама конструкция дорожной одежды уже давно не соответствует фактическому уровню нагружения.

Известно, что величина деформации от приложенной нагрузки уменьшается по толщине покрытия, но на глубине 10-12 см от поверхности она меняется незначительно (рис. 62).

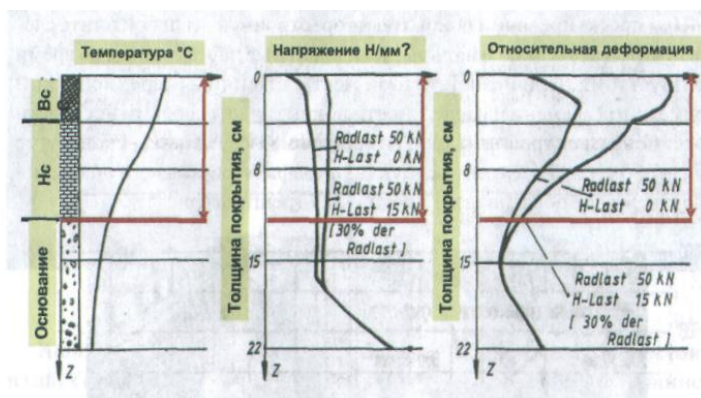


Рис. 62. Эпюры напряжения и относительной деформации

Из рис. 62 видно, что независимо от характеристик верхнего слоя появление колеи неизбежно, если нижний слой по своим прочностным свойствам не соответствует прилагаемой нагрузке и необратимо деформируется. Чтобы избежать подобных дефектов и дальнейшего разрушения дорожного покрытия, на высоконагруженных трассах с интенсивным автомобильным движением при наличии нижних слоев с низкой несущей способностью имеет смысл укладывать два слоя из ЩМА.

Как правило, нижний слой выполняется из ЩМА-20 толщиной 6 - 8 см, а верхний из ЩМА-15 или ЩМА-10 толщиной 3 - 4 см.

Принципиальное отличие требований к применяемому в нижнем слое щебеночно-мастичному асфальтобетону заключается в использовании несколько меньшего количества битумного вяжущего и большей величины остаточной пористости. Делается это из чисто экономических соображений.

Как один из первых примеров укладки двухслойного ЩМА можно рассмотреть автобан А8 в Германии, в районе г. Штутгарт. Там в 1993 г. при реконструкции дорожного полотна была построена следующая конструкция (рис. 63).

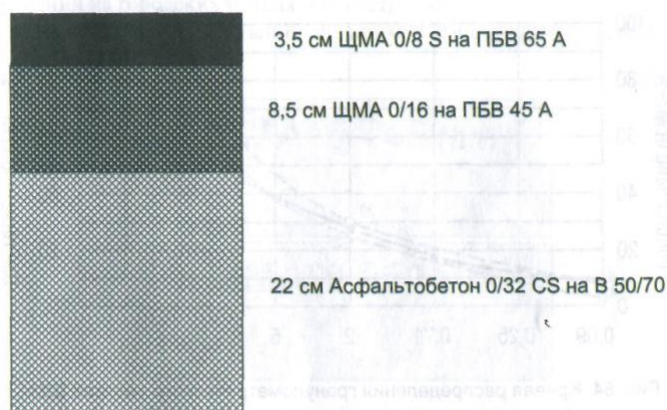


Рис. 63. Строение дорожной одежды при реконструкции автобана А8

Необходимость в данной конструкции возникла при замене цементобетонного покрытия в связи с опасением, что применение стандартной нежесткой дорожной одежды может привести к возникновению пластичной колеи из-за высоких транспортных нагрузок (более 80 тыс. автомобилей в сутки на 1991 г.). На момент обследования данный участок находился в прекрасном состоянии без каких-либо намеков на появление колеи.

Состав ЩМАС в нижнем слое покрытия включал:

Щебень – 73 %;

Отсев – 18 %;

МП – 9 %;

Вяжущее (ПБВ 45А) - 5,3 %;

Волокна («Виатоп 66») - 0,45 %.

Остаточная пористость образцов ЩМА 0/16, уплотненных по методу Маршалла 50 ударами трамбовки, составляла 4,6 %.

Кривая распределения гранулометрического состава смеси представлена на рисунке 64.

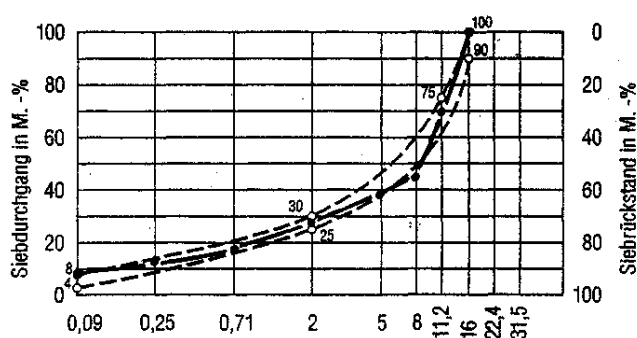


Рис. 64. Кривая распределения гранулометрического состава ЩМА 0/16 для нижнего слоя на автобане А8 (Германия)

В городских условиях очень часто возникает необходимость в устройстве дорожных покрытий из ЩМАС с разными спецификациями по слоям для обеспечения различных функциональных и структурных условий движения транспорта по полосам движения.

В табл. 29 сведены основные типы и возможные места применения двойных слоев ЩМА.

Таблица 29. Типы двойных слоев ЩМА

Типы покрытий ЩМА	Характеристики
Двойной вертикальный слой	Два слоя, один над другим, каждый со своими свойствами. Для комбинированной структуры покрытия, перекрестки, пересечения и т.д.
Две горизонтальные полосы	Две полосы, уложенные рядом, с различными свойствами. Для полос с разной транспортной нагрузкой.
Двойной перевернутый вертикальный слой	Крупный ЩМА, уложенный поверх мелкого ЩМА. Жесткое покрытие для высокой транспортной нагрузки.

Рассмотрим данные типы покрытий ЩМА с точки зрения их применения на городских улицах и магистралях.

Двойной вертикальный слой, пример конструкции покрытия представлен на рис. 65.

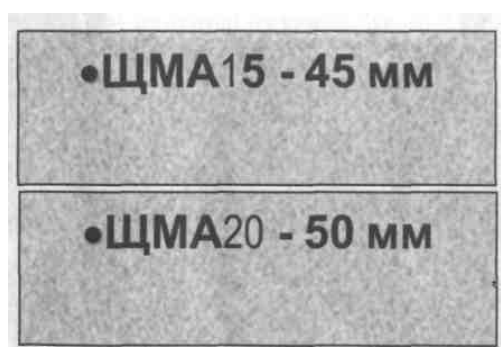


Рис. 65. Конструкция «двойной вертикальный слой»

Покрытие применяется на полосах с очень тяжелой транспортной нагрузкой, в местах остановок общественного транспорта и на перекрестках. На улицах с менее тяжелой транспортной нагрузкой допускается устройство двух слоев из ЩМА-10 толщиной 30 мм каждый.

Конструкция дорожного покрытия с двумя различными горизонтальными полосами приведена на рис. 66.



Рис. 66. Конструкция «две горизонтальные полосы»

Данная конструкция покрытия применяется на улицах с небольшой транспортной нагрузкой, имеющих несколько полос для движения в одном направлении, причем движение общественного или тяжелого транспорта осуществляется по правой полосе (рис. 67).



Рис. 67. Улица с горизонтальными полосами из различных ЩМА

Пример конструкции дорожного покрытия из ЩМА в виде «двойной вертикальный перевернутый слой» показан на рис. 68.

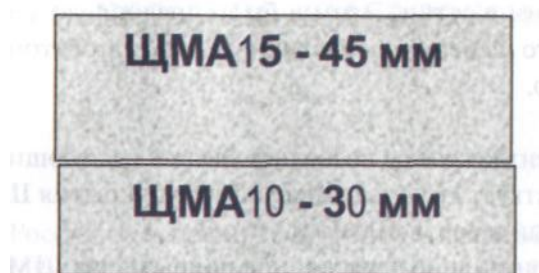


Рис. 68. Конструкция «двойной вертикальный перевернутый слой»

Данную конструкцию рекомендуется применять в качестве жесткого покрытия на улицах с тяжелой транспортной нагрузкой и на площадках для разгрузки транспорта.

На рис. 69 показано двухслойное покрытие, где внизу уложенЩМА-15, а наверхуЩМА-20. Эти слои укладывались в 2005 г. в городе Буэнос-Айрес (Аргентина) на улице Хуерго-Мадеро, ведущей от морского порта.



Рис. 69. Вид покрытия на улице Хуерго-Мадеро (Аргентина)

Транспортная нагрузка на покрытие характеризуется интенсивностью движения более 15 тысяч тяжелых грузовиков с морскими контейнерами в сутки. Этим и было предопределено применение двухслойного щебеночно-мастичного асфальтобетона на улице Хуерго-Мадеро.

Все вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы:

- Существует два вида двухслойного покрытия ЩМА: горизонтальный и вертикальный.
- Горизонтальное двухслойное покрытие из ЩМА было разработано с целью адаптации конструкции дорожного покрытия к различным условиям нагружения по полосам движения.
- Вертикальное двухслойное покрытие из ЩМА было разработано с целью повышения сопротивляемости дорожной одежды возросшим деформациям и возможности адаптации дорожного полотна к увеличившимся нагрузкам за счет реконструкции только верхних слоев.
- Двухслойное покрытие из ЩМА позволяет одновременно повысить несущую способность дорожной одежды и эксплуатационные свойства покрытия за счет оптимизированного подхода к конструированию дорожного полотна.

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЩМА В РОССИИ

На дорогах России щебеночно-мастичный асфальтобетон начали применять в 2000 г.

Первые участки покрытия из ЩМА были построены на автомобильных дорогах: М-4 «Дон» (км 117+600 -км 119), М-1 «Беларусь» (228 км), Носовихинском шоссе (16 км), улице Чехова в г. Альметьевске.

В 2001 г. экспериментальное строительство верхних слоев покрытий из ЩМА было продолжено на участках автомобильных дорог МКАД - Кашира (96-105 км), МКАД - Железнодорожный - Ликино (2-7 км и 18-20 км), а также на мостах через реку Обь в г. Ханты-Мансийске, Новосибирске и на стоянке воздушных судов в аэропорту Шереметьево.

Основные объемы строительства дорожных покрытий из ЩМА, которые были освоены дорожно-строительными организациями в 2002 г., приведены в табл. 30. В это же время были построены опытные участки покрытий в Белоруссии, Украине и других странах СНГ.

Таблица 30. Объемы строительства дорожных покрытий из ЩМА в 2002 году

Наименование автодороги	Участок, км	Площадь покрытия, м ²	Строительная организация
МКАД-Кашира (М-4)	72-105	474000	ОАО «Центродорстрой»
Обход г. Коломны	104-107	24000	
Носовихинское шоссе	9-16	75000	ГП «Ногинский Автодор»
Москва - Санкт-Петербург	47-62, 72-85	354000 236000	ЗАО «АДС»
Волоколамское шоссе	25-30	80000	ООО «Автодор-ККБ Звенигород»
Москва-Минск (М-1)	187-198	68000	ЗАО «Труд»
Москва-Минск (М-1)	320-327	114000	ОАО «Смоленскдорстрой»
Щелковское шоссе	27-32	35000	УГП ДРСУ № 9
г. Хабаровск, ул. Комсомольская	-	650	Управление дорог и благоустройства
г. Южно-Сахалинск, ул. Ленина	-	600	МУП СДРСУ

В 2003-2004 годах шло интенсивное наращивание объемов строительства покрытий из ЩМА в различных регионах и дорожно-климатических зонах России. К концу 2004 г. было выпущено порядка 875 тыс. т смеси, а суммарная площадь покрытия из ЩМА достигла 10,3 млн. м², что в переводе на двухполосную дорогу составляет протяженность примерно 1,5 тыс.км.

В 2004 г. в массовом порядке начали применять ЩМА в городских условиях.

В первую очередь в Москве, которая столкнулась с таким явлением, как интенсивное образование колеи местами глубиной до 40 мм в левом крайнем ряду на скоростных магистралях и прежде всего на Московской кольцевой автодороге (МКАД).

Основной причиной возникновения данного дефекта согласно исследовательской работе, проделанной кафедрой «Дорожно-строительные материалы» МАДИ (ГТУ) по заданию ГУП «Доринвест», стал интенсивный износ верхнего слоя дорожной поверхности под действием шипованных шин легковых автомобилей [47]. В этом же году были уложены пробные участки на улицах в городах Самара, Тольятти, Пермь и на мосту в г. Санкт-Петербурге.

В 2005 г. тенденция к увеличению объемов применения ЩМА в городах сохранилась. Продолжилось строительство покрытий из ЩМА в Москве силами ООО «Транс-

промсервис», ООО «Аран», АБЗ «Бетас», АБЗ «Астар», АБЗ № 4 «Капотня» и АБЗ № 1. В преддверии 1000-летия Казани силами ОАО «Дорсервис РТ» были капитально отремонтированы большие уличные площади с устройством верхнего слоя из ЩМА-10. Продолжились работы по внедрению ЩМА в городах Самара и Пермь, также были построены первые участки на КАД в г. Санкт-Петербурге и др.

Динамика роста объемов строительства покрытий из ЩМА в России показана в виде диаграммы на рис. 70.

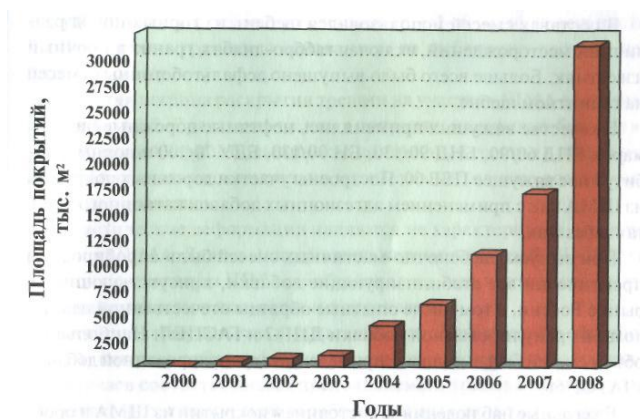


Рис. 70. Объемы строительства покрытий из ЩМА в России

Столь резкому увеличению объемов применения ЩМА на дорогах России способствовали технологические и эксплуатационные преимущества, которые были выявлены в результате опытного строительства. Так, производственные комиссии в составе представителей ДСД «Центр», «Центрдорконтроля», «Союздорпроекта», «Союздорнии» и АО «Центродорстрой» отмечали хорошее состояние опытных участков покрытий из ЩМА, регулярно проводя их обследования на автомагистрали М-4 «Дон».

С учетом результатов этих обследований Росавтодор ежегодно выдавал разрешение на расширенное применение щебеночно-мастичного асфальтобетона на федеральных дорогах России при условии обязательного научно-технического сопровождения строительства.

За рассматриваемый период в производственных условиях были апробированы щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси с максимальным размером минеральных зерен 10, 15 и 20 мм. Наибольший объем работ был выполнен из смеси ЩМА-15.

В составах смесей использовался щебень из горных пород различных месторождений, включая габбро-диабаз, гранит и прочный известняк. Больше всего было выпущено асфальтобетонных смесей на гранитном щебне.

В качестве вяжущих применялись нефтяные дорожные битумы марок БНД 60/90, БНД 90/130, БН 90/130, БДУ 70/100 и полимерно-битумное вяжущее ПБВ 60. Построены участки дорожных покрытий из ЩМА как с применением адгезионных добавок катионного типа, так и без них.

При выпуске щебеночно-мастичных смесей были апробированы практически все стабилизирующие добавки, присутствующие на рынке России, в том числе опытные образцы отечественной целлюлозной гранулированной добавки ДЦГ-2 и ГАСЦЕЛ. Наибольший объем смесей был выпущен с применением гранулированной добавки VIATOR 66.

Ежегодные наблюдения за состоянием покрытий из ЩМА и обобщение данных об их работоспособности и долговечности в различных регионах России являются весьма полезными.

На моменты обследований, по общепризнанному мнению членов комиссий, установлено, что экспериментальные участки покрытий из ЩМА находятся в хорошем состоянии. Выбоины и шелушение на всем протяжении экспериментальных участков отсут-

ствуют, что нельзя сказать о базовых участках асфальтобетонных покрытий, эксплуатировавшихся в аналогичных условиях.

Единственным дефектом покрытий из ЩМА являются поперечные трещины. При инструментальном обследовании покрытия на автодороге М-4 «Дон» было установлено, что все трещины являются отраженными от трещин блочного основания, которое выполнено из щебеночно-песчаной смеси, укрепленной цементом.

Расстояние между отраженными трещинами не зависит от качества асфальтобетона в верхнем слое, а связано с характером деформирования нижележащих конструктивных слоев дорожной одежды и земляного полотна.

В весенний период зафиксировано, что ширина раскрытия трещин изменяется по толщине конструктивного слоя асфальтобетона, увеличиваясь к основанию, например, с 1-6 мм на поверхности до 10-15 мм на границе с основанием из щебеночно-песчано-цементной смеси.

Средняя ширина раскрытия трещин на участках ЩМА оказалась примерно в 1,5-2 раза меньше, чем в покрытии из асфальтобетона типа А. В летний период большинство поперечных трещин в покрытии из ЩМА становились визуально незаметными, однако осенью они снова раскрывались.

Пластические деформации являются не характерными для покрытий из ЩМА.

Даже в экстремально жаркие периоды 2001-2002 гг. колея в покрытии из ЩМА не образовалась, что подтверждали измерения ровности в поперечном направлении.

Во время строительства результаты испытаний смесей и образцов ЩМА, которые отбирали из построенных покрытий, в большинстве случаев соответствовали предъявляемым требованиям.

Сводка результатов статистической обработки данных испытаний образцов щебеночно-мастичного асфальтобетона из конкретных экспериментальных участков покрытий, устроенных на автодороге «МКАД - Кашира», приведена в табл. 31.

Коэффициент сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием определяли по ГОСТ 30413-96 автомобильной установкой типа ПКРС-2У. Результаты замеров коэффициента сцепления колеса с поверхностью покрытий на обследуемых участках автодороги «МКАД - Кашира» по данным Центральной станции испытания автодорог Союздорнии представлены в графическом виде на рис. 71.

Из представленных данных следует, что ЩМА не только обеспечил более высокое сцепление покрытия с колесом автомобиля по сравнению со смежным участком из асфальтобетона типа А, но и более стабильные значения коэффициента сцепления во времени, которые мало изменились за 17 месяцев движения автомобилей по полосе наката.

Таблица 31. Сводные результаты испытаний кернов щебеночно-мастичного асфальтобетона из экспериментальных участках покрытий, устроенных на автодороге «МКАД-Кашира»

Наименование участка	Время испытаний	Параметры распределения	Керны			Переформованные образцы				К-т уплотнения
			Толщина слоя, см	Средн. плотн. г/см ³	Водонасыщ. %	Средн. плотн. г/см ³	Водонасыщ. %	R20 водн., МПа	R50, МПа	
км 117 + 600- км 119 ЦМА-15	10/2000 г	AV=	4,28	2,61	0,86	2,63	1,08	3,30	0,72	0,994
		STD=	0,4817	0,0122	0,8264	0,0045	0,6979	0,3742	0,1095	0,0055
		Cv, %=	11,3	0,5	96,1	0,2	64,6	11,3	15,2	0,6
	03/2001 г	AV=	4,07	2,60	0,90	2,62	1,57	3,73	0,73	0,993
		STD=	0,5132	0,0100	0,9539	0,0058	0,8145	0,1528	0,0764	0,0058
		Cv, %=	12,6	0,4	106,0	0,2	52,0	4,1	10,4	0,6
	03/2002 г	AV=	4,00	2,63	0,30	2,63	0,80	3,85	0,85	1,00
		STD=	0,5000	0,0104	0,2000	0,0100	0,5657	0,9192	0,0636	0,0011
		Cv, %=	12,5	0,4	66,7	0,4	70,7	23,9	7,5	0,1
км 96 - км 103 ЦМА-15	07/2001 г	AV=	4,8	2,354	1,88	2,40	1,51	2,9	0,9	0,981
		STD=	0,5310	0,0272	0,8800	0,0094	0,6025	0,335	0,175	0,0132
		Cv, %=	11,1	1,2	46,8	0,4	39,9	34	19,4	1,3
	03/2002 г	AV=	4,68	2,39	0,82	2,39	1,92	2,95	0,84	1,003
		STD=	0,5529	0,0137	0,4708	0,0052	0,7574	0,2517	0,1626	0,0051
		Cv, %=	11,8	0,6	57,7	0,2	39,5	8,5	19,5	0,5
км 103 - км 105 ЦМА-20	07/2001 г	AV=	4,7	2,441	1,10	2,455	2,5	2,8	0,7	0,99
		STD=	0,5692	0,0554	0,5831	0,01	0,5	0,210	0,041	0,006
		Cv, %=	12,2	2,3	53,0	0,4	20	7,5	5,9	0,6
	03/2002 г	AV=	5,33	2,40	1,17	2,40	2,37	2,60	0,64	1,00
		STD=	0,2887	0,0058	0,2887	0,0058	0,3055	0,4243	0,1414	0,0024
		Cv, %=	5,4	0,2	24,7	0,2	12,9	16,3	22,1	0,2
Примечание: AV – среднее значение показателей свойств в выборке; STD – среднее квадратическое отклонение; Cv, % - коэффициент вариации.										

На участке 95-103 км коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием из ЩМА-15 оказался равным в среднем 0,46 при коэффициенте вариации 2 %. На участке 103-105 км (ЩМА-20) средний коэффициент сцепления составил 0,44 при коэффициенте вариации 2,9 %.



Рис. 71. Сравнение фрикционных свойств покрытий из ЩМА и типа А в различные годы обследования

Большое влияние на безопасность, скорость и комфортабельность движения по дороге, а в конечном итоге на технико-экономические показатели автомобилей и самого покрытия, оказывает ровность поверхности проезжей части.

Ровность экспериментальных покрытий из ЩМА замеряли двумя методами: с помощью трехметровой рейки и лазерно-гироскопической установкой ОАО «СоюздорНИИ».

Первый метод контроля ровности применяли в процессе устройства покрытия в соответствии с СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги» и утвержденным регламентом на строительство экспериментальных участков из ЩМА.

Второй метод является наиболее эффективным для определения неровностей с различной длиной волны при приемосдаточных испытаниях протяженных участков дорог, а также для контроля изменения ровности в процессе эксплуатации дорожного покрытия.

По данным Лаборатории технологии и механизации дорожных работ ОАО «СоюздорНИИ», показатели ровности по измерениям просветов под трехметровой рейкой на экспериментальном участке покрытия из ЩМА располагаются выше предельного 95 %-го значения.

Ровность устроенного покрытия зависела в основном от качества выполнения поперечных швов примыкания укладываемых полос. Были отмечены протяженные участки покрытия с 100 %-ной ровностью, что бывает трудно достичь при укладке стандартных уплотняемых асфальтобетонных смесей даже в случае применения автоматической системы обеспечения ровности асфальтоукладчика.

В целом результаты проведенных обследований участков покрытий на автомобильной дороге М-4 «Дон» показали большие потенциальные возможности щебеночно-мастичного асфальтобетона в обеспечении ровности дорожных покрытий, что объясняется малыми величинами припуска на уплотнение этого вида смеси, а также практическим отсутствием волн перед вальцами катков при уплотнении слоя.

Представляет интерес сопоставление ровности смежных участков покрытий из ЩМА и асфальтобетона типа А (км 117+600 - км 119), которые находились в эксплуатации более 1 года.

Замеры лазерной установкой на 2-й полосе движения показали, что по всем показателям ровность покрытия из ЩМА выше, чем асфальтобетона типа А (рис. 72).

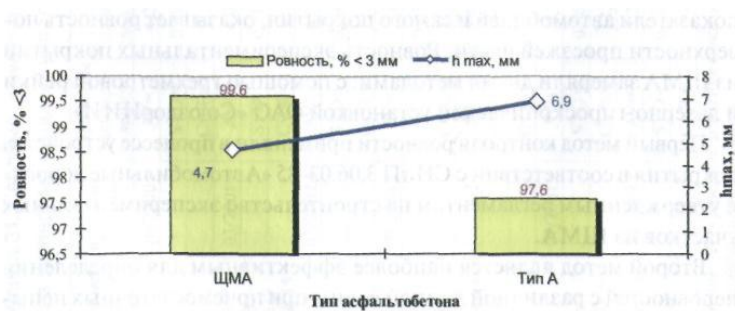


Рис. 72. Сопоставление смежных участков покрытий по ровности

По результатам комплексного обследования эксплуатационных характеристик покрытия на опытных участках из щебеночно-мастичного асфальтобетона и на смежных участках из асфальтобетона типа А, введенных в эксплуатацию в 2000 и 2001 гг. на автомобильной дороге М-4 «Дон», было отмечено следующее.

1. Щебеночно-мастичный асфальтобетон, уложенный в покрытия экспериментальных участков, характеризуется средними значениями коэффициента внутреннего трения от 0,94 до 0,95 при коэффициенте вариации от 1,0 до 1,6 %. Средний коэффициент внутреннего трения асфальтобетонной смеси типа А был равен 0,90 при коэффициенте вариации 2,5 %. Поэтому в условиях длительного действия транспортных нагрузок и при увеличении нагрузок на оси автомобилей сдвигустойчивость покрытий из ЩМА прогнозируется более высокой. За весь период эксплуатации участков покрытий из ЩМА колеи пластичности не обнаружено.

2. Установлено лучшее состояние поверхности ЩМА по следующим признакам:

- отсутствуют выбоины, выкрашивание и шелушение поверхности на всем протяжении экспериментальных участков покрытий, что выгодно отличает их от покрытий из других типов смесей;
- ширина раскрытия отраженных трещин на поверхности ЩМА в 1,5-2 раза меньше, чем в асфальтобетоне типа А;
- отсутствуют разрушения асфальтобетона в зоне трещин, хотя за весь период эксплуатации они не saniровались;
- повышенная устойчивость ЩМА к эрозионным разрушениям подтверждается достаточно высокими показателями водостойкости при длительном водонасыщении;
- на момент обследования показатель водонасыщения ЩМА в покрытии не превышал 1,5 %, что позволяет характеризовать верхний слой на экспериментальных участках как водонепроницаемый;
- покрытие из ЩМА характеризуется примерно в 1,8 раз более высокой шероховатостью по сравнению с покрытием из асфальтобетонной смеси типа А той же крупности.

Коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием из ЩМА находился в пределах 0,43-0,48 и оказался выше, чем на базовом участке из асфальтобетона типа А. После 17 месяцев эксплуатации участка покрытия из ЩМА-15 среднее значение коэффициента сцепления колеса автомобиля на полосе наката изменилось незначительно: с 0,446 до 0,442;

• обследованные участки покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона протяженностью более 50 км характеризовались высокими и стабильными показателями ровности во время эксплуатации.

3. Выявленные преимущества экспериментальных покрытий из ЩМА по основным эксплуатационным показателям качества дают возможность прогнозировать их более высокую долговечность.

В результате опытно-экспериментальных работ также было установлено, что ЩМАС позволяют устраивать верхние слои покрытий на 1 см тоньше, чем проектные, при этом работоспособность ЩМА по крайней мере не хуже, чем у слоев покрытий из ас-

фальтобетона типа А. Поэтому даже без учета увеличения срока службы покрытия и снижения транспортно-эксплуатационных затрат экономический эффект от внедрения смесей ЩМА составил 5-10 руб./м² в ценах 2000 года (рис. 73).

Из рис. 73 также следует, что наибольший эффект может быть получен при устройстве более тонких защитных слоев из ЩМА.

В России решение о строительстве первого опытного участка ЩМА в международном аэропорту Шереметьево было принято в начале 2001 г. в ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект».

Необходимость устройства покрытия из ЩМА была обусловлена возникшей в 2000 г. во многих аэропортах проблемой, связанной с образованием остаточных пластических деформаций в виде линз в местах стоянок воздушных судов. Глубина образовавшихся под колесами лунок достигала 50 мм. Данный дефект возникал в летний период года, когда температура окружающего воздуха достигала 30 °С и более, а температура на поверхности покрытия часто превышала 60 °С.

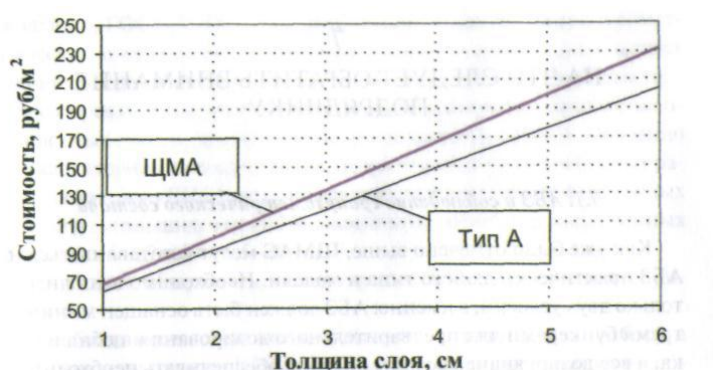


Рис. 73. Сравнение стоимости верхних слоев покрытий из ЩМА и асфальтобетона типа А

В начале августа 2001 г. силами ООО «Вулкан» было удалено старое покрытие со стоянки № 26 на глубину 80-120 мм (до бетонного основания) и уложена двумя слоями смесь ЩМА-15 общей толщиной 80-120 мм. Научное сопровождение осуществлялось ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект» при участии специалистов ОАО «СоюздорНИИ» и ГК «Растом». Визуальное обследование и испытание опытного участка из ЩМА в 2002 г. дали положительные результаты.

В рамках реконструкции международного аэропорта Шереметьево в 2006 г. на перроне было уложено 40 тыс. м² ЩМА-20 толщиной 6 см. В 2007 г. в продолжение этой работы запланировано обустройство еще 50 тыс. м² перрона и 12 тыс. м² стоянок воздушных судов.

Кроме этого, во вновь строящемся аэропорту г. Геленджик (Краснодарский край) на стадии проектной документации ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект» было заложено устройство рулежных дорожек с верхним слоем ЩМА-20 толщиной 6 см.

НА ЧТО СЛЕДУЕТ ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ ПОДРЯДЧИКУ

7.1. АБЗ и соблюдение гранулометрического состава

Как уже было отмечено выше, ЩМАС могут изготавливаться на АБЗ практически любого типа и модели.

Необходимо выполнение только двух условий, а именно: АБЗ должен быть оснащен минимум тремя бункерами для предварительного дозирования щебня и песка, а все дозирующие системы должны обеспечивать необходимую точность дозировки.

Основной ошибкой, с которой постоянно приходится сталкиваться при проведении научно-технического сопровождения проектов по изготовлению и укладке ЩМА, - это несоблюдение гранулометрического состава минеральной части асфальтобетонной смеси.

В смесях ЩМА используются узкие фракции каменного материала кубовидной формы с достаточно жестким допуском по наличию зерен щебня пластинчатой (лещадной) и игловатой формы.

С каждым годом вслед за растущим спросом все больше карьеров переходят на выпуск узких фракций щебня: 3-5 мм, 5-10 мм, 10-15 мм или 10-20 мм. Многие карьеры, расположенные в западных регионах Европейской части России, особенно в Карелии, перешли на так называемый Европейский стандарт и выпускают щебень фракции: 4-8 мм, 8-11 мм, 11-16 мм и 16-22 мм.

Таким образом, если в первые годы основной проблемой было получение в достаточном количестве щебня необходимой фракции, и изготовлением ЩМА занимались в основном подрядчики, имеющие собственные дробильно-сортировочные установки, то в настоящее время эта проблема отступила на второй план.

Сейчас на первый план вышла совершенно иная проблема.

Имея необходимую нормативную документацию, некоторые подрядчики пытаются самостоятельно произвести подбор состава смеси.

К сожалению, ГОСТ 31015-2002 имеет широкий допуск на гранулометрический состав щебня, и при определенных условиях, вписываясь в кривую зернового состава минеральной части, подрядчик, сам того не подозревая, практически уходит в область многощебенистых высокоплотных смесей, что абсолютно не соответствует ЩМА. Особенно это характерно для подрядчиков, не имеющих достаточный опыт работы со смесями ЩМА, не понимающих до конца философию данных смесей и пытающихся немного сэкономить, работая на расширенных фракциях 5-15 мм или 5-20 мм.

Для того чтобы понять, чем это грозит, приведем небольшой пример.

Необходимость строгого и серьезного отношения к подбору и приготовлению смеси ЩМА была подтверждена испытаниями образцов ЩМА различных составов по методу циклической прокатки нагруженного колеса в колеемерах [41], результаты которых наглядно отражены на рис. 38. На графике по вертикали отмечена величина продавливания образца (или глубины пластической колеи), а по горизонтали - количество циклов нагружения.

Верхняя кривая 1 показывает величину колеи, образовавшейся в образце ЩМА, имеющем ошибочный подбор гранулометрического состава (среднего между составом асфальтобетона типа А и истинного ЩМА).

Средняя кривая 2 показывает величину колеи, образовавшейся в образце, приготовленном с той же спецификацией, но с применением полимерно-битумного вяжущего.

Нижняя кривая 3 показывает результаты испытания образца, имеющего оптимальный подбор смеси по зерновому составу истинного ЩМА с применением обычного немодифицированного битума.

Первый образец (кривая 1) несмотря на то, что его зерновой состав вписывается в допускаемые пределы гранулометрии, явно не имеет достаточного количества щебня крупной фракции для построения замкнутого каркаса, а за счет излишнего количества средней фракции происходит «раздвижка» остова. Введение же полимера в битум позволяет уплотненной смеси лучше сопротивляться необратимому деформированию под действием колесной нагрузки.

Третий же образец показывает, насколько важно, в том числе и экономически, правильно произвести подбор состава минеральной части смеси (кривая 3).

7.2. Стабилизаторы,

Еще одним чрезвычайно важным моментом для строительства качественного дорожного покрытия из ЩМА является правильный выбор стабилизирующей добавки.

Одним из условий получения ЩМАС является наличие в ней повышенного количества вяжущего (обычно в пределах 6,0-7,8 %) для наиболее полного заполнения межзернового пространства и для улучшения деформационных характеристик.

В связи с угрозой неизбежного стекания излишков вяжущего в процессе транспортировки и укладки смеси применяются стабилизирующие добавки. Опытным путем было определено, что по соотношению цена/качество наилучшими показателями обладают специально подготовленные натуральные целлюлозные волокна.

Первоначально в качестве стабилизатора использовались так называемые свободные целлюлозные волокна, нарезанные и «распушенные» специальным образом.

Однако после перехода от единичного производства ЩМА к массовому применению все чаще стали проявляться определенные дефекты смеси.

Прежде всего, это сегрегация смеси и появление битумных пятен различной величины на вновь уложенной поверхности покрытия непосредственно в процессе уплотнения. После дополнительных исследований было обнаружено, что несмотря на высокий стабилизирующий эффект свободные волокна обладают следующими серьезными недостатками:

- Повышенная гигроскопичность. Подобно вате, целлюлозные волокна хорошо впитывают влагу из окружающего пространства, что может привести к невозможности их дальнейшего использования.
- Затрудненное распределение в смесителе. Для достижения равномерного распределения необходимо увеличивать время сухого смешивания на 20-25 сек., что отрицательно сказывается на конечной производительности смесительной установки.
- Склонность к комкованию, что затрудняет дозирование и дальнейшее распределение волокна в смесительной камере.
- Высокая вероятность обгорания. Когда свободные волокна попадают на нагретый до высокой температуры (220-240 °С) каменный материал, то в первую очередь происходит обгорание положительных интермолекулярных ОН-мостиков, которыми молекула целлюлозы связывается с молекулами вяжущего и с поверхностью каменного материала.

Дальнейшим эволюционным развитием семейства стабилизаторов стало появление гранулированных добавок.

Следует различать три вида гранулированных добавок:

гранулы, состоящие из чистой целлюлозы, гранулы с добавлением парафинов и их производных и гранулы, в которых каждая целлюлозная фибра имеет битумное покрытие.

Последнее обеспечивает полную влагонепроницаемость и полную сохранность при длительном хранении, простую и надежную систему дозирования, прекрасное распределение в смесителе без дополнительного увеличения времени сухого перемешивания и как результат - стабильную смесь на выходе из смесителя.

Кроме этого, наличие битумного покрытия предотвращает обгорание волокон при попадании на горячий каменный материал.

Из нескольких представленных на рынке гранулированных стабилизирующих добавок следует обратить внимание на добавки семейства VIATOR производства германской фирмы JRS GmbH + Co. KG как единственные, имеющие битумное покрытие каждой целлюлозной фибры и лишенные всех вышеизложенных недостатков.

Семейство добавок VIATOR включает в себя несколько видов стабилизаторов, различающихся по процентному соотношению битум/целлюлоза (от 34 % битума до 10 % битума в волокнах). Это позволяет различным подрядчикам выбрать тот стабилизатор, который в зависимости от уровня опыта и условий приготовления ЩМА сможет обеспечить наиболее стабильную и качественную смесь.

Гранулы, содержащие наибольшее количество битума, предназначены для начинающих подрядчиков, с минимальным опытом работы, так как они позволяют избежать возможных ошибок в дозировании. Опытные подрядчики же, имеющие надежные дозирующие системы и большие объемы работ, могут перейти на применение гранул VIATOR с минимальным содержанием битума как на более экономичный вариант.

Следует обратить внимание еще на один момент.

В последнее время ряд производителей целлюлозных волокон, в том числе и гранулированных, стали применять в качестве исходного материала вторичную макулатуру низкого качества, в которой доля побочных примесей достигает 15-25 %.

Это приводит к снижению стабилизационного эффекта и вместо декларируемых поставщиком 3 кг стабилизатора на тонну смеси для получения необходимых показателей стекания приходится увеличивать подачу стабилизатора до 4-4,5 кг.

В последнее время на рынке стали появляться новые стабилизаторы, в том числе и отечественные, и чтобы не возникало проблем с качеством смеси, имеет смысл пользоваться проверенными материалами или предварительно производить всесторонние испытания новых.

При этом следует помнить, что главное для данного компонента - его стабилизационная эффективность и постоянство качества.

7.3. Дозаторы

Все современные смесители оснащаются надежными дозирующими системами подачи гранулированных добавок от производителя. Но даже старые смесительные установки несложно самостоятельно оборудовать сравнительно неплохими дозаторами или приобрести уже готовые.

Последние тенденции в проектировании и изготовлении дозаторов - это применение универсальных систем, легко приспособляемых практически к любой смесительной установке, основанные только на весовом дозировании с использованием высокоточных весов с тензодатчиками.

Существует несколько отечественных и множество иностранных производителей подобных дозирующих систем. Все они работают по похожей схеме.

Например, универсальный дозатор производства Кременчугского машиностроительного завода, который возможно установить практически на любую асфальтосмесительную установку (рис. 74).



Рис. 74. Универсальный дозатор производства КМЗ

Внизу располагается бункер объемом 3-5 м², из которого стабилизатор подается в весовой дозатор и далее по сигналу с пульта, одновременно с подачей минерального порошка, производится выгрузка стабилизатора непосредственно в смеситель или в линию подачи минерального порошка (в зависимости от технической конфигурации смесительной установки). Подача стабилизатора производится воздушным потоком по трубопроводу в автоматическом режиме.

7.4. Последствия нарушений проектного состава и технологии строительства

Хорошее качество и долговечность устраиваемых покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона могут быть обеспечены только при соблюдении проектного состава и технологии работ. Известны случаи раннего появления дефектов в покрытии из ЩМА из-за невыполнения данных условий.

Так, если в составе выпускаемой смеси будет снижено по каким-либо причинам содержание битума, то это приведет к повышению величин остаточной пористости и водонасыщения ЩМА, что может повлечь за собой в дальнейшем выкрашивание щебня с поверхности и снижение устойчивости покрытия к образованию выбоин.

От объема вяжущего в асфальтобетонной смеси прямо пропорционально зависит толщина битумной пленки на минеральной части. Битум в тонких пленках в значительно большей степени подвержен старению под действием высоких температур и окислению кислородом воздуха. Поэтому низкое содержание битума приводит к ускоренному старению асфальтобетона, делает его более хрупким и менее морозостойким, снижает трещиностойкость покрытия.

Превышение оптимального содержания вяжущего в составе смеси ведет к появлению битумных пятен на поверхности устраиваемого покрытия.

Кроме того, повышенное содержание битума в ЩМА снижает его сдвигоустойчивость и может привести к образованию колеи в процессе эксплуатации дорожного покрытия.

Высока роль применяемой стабилизирующей добавки (целлюлозного волокна), и если дозирующая система подачи ее в смеситель работает со значительной погрешностью, то вероятность недостаточного количества стабилизатора будет велика.

Это приводит не только к опасности расслоения смеси и прилипанию ее к днищу кузова автосамосвала и рабочим органам асфальтоукладчика, но и является одной из основных причин выдавливания или «выпотевания» битума на поверхность покрытия.

Напротив, повышенное содержание целлюлозы делает асфальтобетонную смесь «сухой» и приводит к увеличению показателей остаточной пористости и водонасыщения ЩМА.

Структура ЩМА оптимально сочетает максимальную жесткость минерального остова и высокую пластичность асфальтового вяжущего.

Повышенное содержание прочного кубовидного щебня в щебеночно-мастичном асфальтобетоне обеспечивает высокое сцепление с колесом автомобиля, шероховатость, сдвигоустойчивость и износостойкость покрытия, а повышенное содержание асфальтового вяжущего вещества (мастики) увеличивает водоморозостойкость, водонепроницаемость, деформативность при растяжении и усталостную стойкость защитного слоя.

При недостаточном содержании в составе смеси щебня и при преобладании мелких фракций или зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы неминуемо снижается сдвигоустойчивость асфальтобетона, что приведет к неоднородности эксплуатационных показателей и текстуры поверхности устраиваемого покрытия.

Стабильный зерновой состав песчаной части в составе асфальтобетона также имеет принципиальное значение в обеспечении качества устраиваемых дорожных покрытий.

Чрезмерно высокое содержание зерен размером от 1,25 до 5 мм делает щебеночно-мастичную смесь более сдвигоустойчивой, но в то же время и трудноуплотняемой, а высокое содержание зерен мельче 0,63 мм повышает плотность минерального остова и может явиться причиной появления битумных пятен при уплотнении покрытия катками.

Минеральный порошок в асфальтобетоне является не только мелким заполнителем пустот между более крупными зернами каменного материала, но и оказывает структурирующее действие на битумное вяжущее. Являясь дисперсной фазой в коагуляционной структуре асфальтовяжущего вещества, минеральный порошок в комбинации с битумом определяют прочность, деформативность, усталостные и тиксотропные свойства асфальтобетона.

Поэтому отклонения от проектного содержания минерального порошка в смеси как в меньшую, так и в большую сторону ухудшают физико-механические свойства ЩМА и снижают долговечность покрытия.

Процесс приготовления ЩМАС на асфальтобетонных заводах следует оптимизировать с учетом качества выпускаемой продукции. Время перемешивания смеси обратно пропорционально производительности асфальтосмесительной установки и должно ограничиваться. Однако недостаточное время перемешивания приводит к неоднородности выпускаемой смеси и ухудшает физико-механические свойства асфальтобетона.

Качество выполняемых работ напрямую зависит как от температурного режима приготовления смеси, так и от температуры укладки и уплотнения покрытия. Снижение температуры выпускаемой смеси ухудшает ровность устраиваемого покрытия и создает проблемы с уплотнением, особенно при пониженных температурах воздуха. Перегрев смеси способствует расслоению и ускоренному старению битума, что также снижает эксплуатационные свойства и срок службы покрытия.

Следует иметь в виду, что содержание битумного вяжущего может измениться в сторону увеличения от оптимального в результате укладки смеси на неравномерно подгрунтованную поверхность нижнего слоя или в случае обработки ее большим количеством битума. Лишняя подгрутовка, как правило, проявляется в битумных пятнах на поверхности ЩМА и снижает устойчивость покрытия к колееобразованию.

Другие нарушения технологического регламента на стадии подготовительных работ также ухудшают качество укладки смеси.

Например, плохое качество установки копирных струн, как и неровная поверхность основания, приводят к ухудшению ровности устраиваемого покрытия.

Ровность покрытия снизится, если асфальтоукладчик во время укладки смеси делает частые остановки, изменяет скорость движения и испытывает толчки от автосамосвалов и выгружаемой смеси. Особенно заметно это бывает в случае применения легких колесных укладчиков.

Непременным условием хорошего уплотнения покрытия является укатка слоя при максимальной температуре. При большой длине захватки, как и при недостаточном количестве катков для заданного темпа укладки, требуемая степень уплотнения слоя не обеспечивается, что приводит к снижению эрозионной стойкости и износостойкости покрытия. Эта проблема резко усугубляется при укладке смеси на холодное и влажное основание и при нарушениях в зерновом составе минеральной части ЩМА.

В случае применения тяжелых катков весом более 11 т, как и в случае укатки слоя ЩМА с вибрацией, наблюдается дробление отдельных зерен щебня, которые впоследствии могут оказаться потенциальными очагами поверхностных разрушений покрытия.

Раннее открытие автомобильного движения по неостывшему свежееуложенному слою из ЩМА может привести к отрыву отдельных щебенки, прилипающих к пневматическим шинам автомобилей, как и к подосу битума на поверхность полосы наката.

В первом случае создается опасность образования выбоин в холодные и влажные периоды эксплуатации покрытия.

Во втором случае снижается коэффициент сцепления колес автомобилей с поверхностью покрытия.

Следует отметить, что при устройстве дорожных покрытий из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси наиболее часто возникает проблема образования битумных пятен.

Данный дефект не является критическим, так как он обычно не снижает долговечность покрытия, причем по мере износа битумной пленки требуемый коэффициент сцепления колес автомобилей с поверхностью покрытия восстанавливается.

Кроме того, если рассыпать на поверхность с битумными пятнами песок из отсева дробления или мелкие высевки в конце укатки слоя катками, то этот дефект можно устранить.

Тем не менее, допускать появление битумных пятен на поверхности устраиваемых покрытий из ЩМА нежелательно.

Появление битумных пятен на поверхности покрытия из ЩМА в основном вызывают следующие причины:

- плохое распределение, недостаточное количество или отсутствие стабилизирующей добавки целлюлозы в составе щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси;
- нарушен зерновой состав минеральной части в сторону снижения содержания щебня, замещения песка, изменено соотношение между крупной и мелкой фракциями щебня в сторону более плотного минерального остова или увеличено содержание минерального порошка в смеси;
- превышено оптимальное содержание битума в смеси, в том числе и в результате использования чрезмерно большого количества вяжущего для подгрунтовки;
- сегрегация смеси в процессе загрузки, транспортирования или распределения шнеком укладчика;
- повышенная влажность поверхности, на которую производится укладка горячей щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси;
- переуплотнение и раннее открытие движения по неостывшему слою.

В каждом конкретном случае необходимо установить причины появления битумных пятен на поверхности устраиваемого покрытия и оперативно их устранить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В большинстве стран щебеночно-мастичный асфальтобетон находит массовое применение при устройстве верхних слоев дорожных и аэродромных покрытий, обеспечивая устойчивые показатели ровности, шероховатости и сцепления в процессе эксплуатации, в том числе в условиях интенсивного движения транспортных средств.

Покрытия из ЩМА характеризуются сдвигоустойчивостью при высоких температурах, деформативностью и трещиностойкостью при низких температурах, водоморозостойкостью и устойчивостью к эрозии в условиях повышенной влажности и знакопеременных температур.

Исходя из стоимости материалов, производство 1 тонны щебеночно-мастичной смеси обходится в среднем на 30 % дороже производства обычных асфальтобетонных смесей вследствие использования большего количества битума, щебня высокого качества и применения стабилизирующей добавки из натуральных целлюлозных волокон.

Тем не менее, если рассматривать не только процесс приготовления смеси, но и возможность ее укладки более тонким слоем, эксплуатационные и прочие затраты, а также повышение долговечности уложенного слоя, то применение ЩМА становится экономически более чем оправданным.

Большая долговечность и меньшая подверженность различным разрушениям по сравнению с альтернативными материалами приводит в долгосрочном рассмотрении к уменьшению вложенных инвестиций даже при большей изначальной стоимости ЩМА.

Чтобы получить максимальную отдачу от применения ЩМА очень важно правильно подобрать состав смеси и в соответствии с технологическими регламентами изготовить и уложить ее в покрытие. Соблюдение этих правил является основной гарантией долговечности и качества асфальтобетонных покрытий, устраиваемых на достаточно прочных дорожных основаниях.

В нашей стране щебеночно-мастичный асфальтобетон применяется для устройства верхних слоев дорожных покрытий с 2000 года.

Преимущества эксплуатационного состояния опытных участков покрытий способствовали ускоренному внедрению ЩМА на дорогах России.

Можно надеяться, что рассматриваемый материал найдет достойное место в номенклатуре дорожных смесей и поможет дорожникам России решать государственные задачи, связанные с повышением сроков службы и эксплуатационного состояния дорожных покрытий, а также безопасности автомобильного движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Splittmastixasphalt,-Dr.-Ing. K.H. Kolb die Herren H. Erhard, F. Hoggenmuller, O. Kast und andere. / LEITFADEN. Deutscher Asphaltverband (DAV), 27 s.
2. Asphalt | Taschenkalender: BGA. Bonn, 2003.
3. ТУ 218 РСФСР 601-83 «Смеси битумоминеральные открытые для устройства макрошероховатых слоев дорожных покрытий». - Введ. 01.05.89 до 01.05.94.-М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. - 28 с.
4. ТУ-5718.030.01393697-99 «Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные и асфальтобетон. Технические условия». - М.: СоюздорНИИ, 1999. - 20 с.
5. The draft European standard for SMA prEN 13108-6.
6. ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия».
7. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из многощебенистых асфальтобетонов с повышенной плотностью. СоюздорНИИ. М., 1986.
8. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. - М.: Высш. шк., 1969, 396 с.
9. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. - М.: Высш. шк., 1978, с. 310.
10. ТУ 5718-002-04000633-2006. «Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон. Технические условия». - М., 2007.
11. Huschek, S. Einfluß des Verdichtungsgrades auf das Verformungsverhalten von Asphalt. / Schriftenreihe des Lehrstuhls Straßenbau, Heft 7, Dresden, 1998, S. 23-33.
12. Кирюхин Г.Н. Асфальтобетонные покрытия повышенной сдвигоустойчивости и шероховатости // Транспортное строительство. №7, М., 1999, с. 22-25.
13. СТО ГК «Трансстрой»-009-2007. Щебень узких фракций кубовидной формы. Требования, технология получения и контроль качества. - М., 2007.
14. Финские нормы на асфальт 2000: Совецательная комиссия по покрытиям PANK ry, Хельсинки.
15. Методические рекомендации по применению битумов разных марок в асфальтобетонных смесях различного гранулометрического состава. СоюздорНИИ. - М., 1981, 15 с.
16. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М.: Транспорт, 1973. - 260 с.
17. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements. - Carl Woodman (Asst Director, Construction Branch, Metro Transportation), Robert Burlie* (Project Manager, Construction Branch, Metro Transportation) & John Emery* (President, John Emery Geotechnical Engineering Ltd.), CTAА Conference - Edmonton November 17-20, 1996.
18. ОДМ.218.2.003-2006 Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блоксополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. М., Росавтодор, 2006.
19. Ульмгрен Н., Дымов С. Зарубежный опыт применения щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (на примере шведского концерна NCC) / Каталог-справочник «Материалы и Конструкции, октябрь 2003: Норма, Санкт-Петербург.
20. Патент США № 4 874 432.
21. Гельмер В.О. Асфальтобетон. - Харьков: ДНТБУ, 1936. - 91 с.
22. Superpave Mix Design. Asphalt Institute Superpave Series № 2 (SP-2), Printing. - 1996. - s.117.
23. Компьютерная программа подбора оптимальных составов асфальтобетонных смесей (АСФПРО). М., фирма «Дорекс», 1997-2001.
24. Пособие по строительству асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов (к СНиП 3.06.03-85 и СНиП 3.06.06-88). СоюздорНИИ. - М.,

1991. - 162 с.

25. Standard Practice for Designing Stone Matrix Asphalt (SMA). AASHTO Designation: PP 41-02.

26. Кирюхин Г.Н. Контроль плотности покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли, № 1, 2005, с. 15-17.

27. СТО ГК «Трансстрой» 007-2007 Асфальтобетон. Метод оценки устойчивости к образованию колеи пластичности.

27. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements. - John Emery, Carl Woodman, Robert Burlie. // XIII IRF World Meeting, Toronto, Ontario, Canada 1997.

28. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА). СоюздорНИИ. - М., 2002. - 36 с.

29. Кирюхин Г.Н., Балашов С.Ф., Сокальская М.Б. Устройство слоев износа из горячих щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей // Труды СоюздорНИИ. Юбилейный выпуск. М., 2001, с. 76-84.

30. Стебаков А., Кирюхин Г., Гопин О. Щебеночно-мастичный асфальтобетон - будущее российских дорог // Строит, техника и технологии. 2002. № 3, с. 68-70.

31. Броницкий Е.И., Гуменюк Ю.Е., Комиков А.В. Использование щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при капитальном ремонте участков автомобильной дороги Москва - Санкт-Петербург (км. 47 - км. 62, км. 72 - км. 85) // Научно-технический информационный сборник, вып. 1, М.: Информавтодор, 2003 с. 22-32.

32. Дубина С.И. Приготовление щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси на асфальтосмесительной установке непрерывного действия // Труды СоюздорНИИ «Проектирование, строительство, эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов», вып. 205, М., 2004, с. 94-103.

33. NAPA (National Asphalt Pavement Association) Designing and Constructing SMA Mixtures - State of the Practice. QIP 122 1999 г.

34. Кирюхин Г.Н., Юмашев В.М., Сокальская М.Б. Условия обеспечения однородности верхнего слоя покрытия // Наука и техника в дорожной отрасли, 1998 (1), с.13-15.

35. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М., Мир, 1972.

36. Schroder I., Kluge H.J. Erfahrungen mit Splittmastixasphalt. //Bitumen 4, 1992.

37. Смирнов Е. Щебеночно-мастичный асфальтобетон // Автомобильные дороги. 2001, № 11.

39. Großhans D., Pohlmann P., Reuter H-R. Ursachen für Verformungen in Asphaltbefestigungen mit Splittmastixasphaltdeckschichten am Beispiel des Autobahnnetzes in Brandenburg. // Bitumen № 2, 1998, s. 50-59.

40. Кирюхин Г.Н., Юмашев В.М. Повышение сдвигоустойчивости асфальтобетона добавками полимеров // Автомобильные дороги. 1992. № 7-8, с.12-14.

41. EN 12697-22:2003 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 22: Wheel tracking.

42. Арутюнов В., Кирюхин Г., Юмашев В. Первый опыт строительства покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона в России // Дороги России, № 3, 2002, с. 58-61.

43. Кирюхин Г.Н. Сдвигоустойчивость асфальтобетона в покрытиях дорог // Труды СоюздорНИИ «Вопросы проектирования и строительства автомобильных дорог», М., 1993, с. 79-91.

44. Louay N. Mahammad, Zheng Z. Tan, Baoshan Huang. Fundamental Properties of SMA and CMHB Mixes. - Proceedings BCRA'98, Norway, 1998. - V.2.

45. Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. - Харьков: Высш. шк., 1977.

46. Serfass J.-P., Mahe de la Villegle B. Revetement et complexes antifissures a base d'enrobes avec fibres. // Revue Generale des Routes et Aerorodromes. № 752, 1997, p.29-32.

47. Коробин Ю., Быстров Н. Колея // Автомобильные дороги. № 4, 2003, с. 15-17.

48. ОДМ Рекомендации по выявлению и устранению колеи на жестких дорож-

ных одеждах. М., Росавтодор, 2002.

49. Технические указания по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью. ВСН 73-67 / Минтрансстрой СССР. - М., 1968.

50. Горелышев Н.В., Лобзова К.Я. Некоторые результаты опытного устройства покрытий с шероховатой поверхностью // Автомобильные дороги № 3, 1964.

51. Heavy Duty Stone Mastic Asphalt. - Carl Johan Wohlk, M. Sc. (Chem.), Senior advisor Carsten Bredahl Nielsen, M. Sc. (Civ. Eng.), Ph. D., Civil Engineer. Road Directorate, Danish Road Institute. - Denmark.

52. Vario Exact Chip Spreader for SMA Applications. - By Karl-Otto Ueberbach, Bomag Holding Inc., Boppard, Germany. // XIII IRF World Meeting, Toronto, Ontario, Canada 1997.

52. ZTV Asphalt-StB 01: Zusatzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (2001), FGSV Nr. 799.

53. Hushek S. Die Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner / Schulze. // Bitumen ¹/₂, S. 14-18.

55. Юмашев В.М. Исследование шлифуемости каменных материалов, применяемых в покрытиях автомобильных дорог: Автореф. дисс. ...канд. техн. наук. - М., 1974. - 31 с.

56. Wolterek G. Erfahrungen mit Splittmastixasphalt auf Bayerischen Autobahnen // Bitumen. 1997. - № 2. - s. 50-53.

57. Prithvi S. Kandhal, Sanjoy Evaluation of Voids in the Mineral Aggregate for HMA Paving Mixtures: CTAA Conference - Edmonton November 17-20, 1996.

58. Asphaltstraßen. ZTV Asphalt - StB 94.

59. Heavy Duty Surfaces: The arguments for SMA. - EAPA, 1998.

60. AASHTO Designation: T 305-97 (2001)

61. Dijkink J.H., Houtepen A.S.M., F. van Gorkum / A New Dripping Test for Stone Mastic Asphalt.

62. Huning P. Bewahrung von Splittmastixasphalt // Asphalt (BRD) N 2. - 1977, S. 27-31.

63. Brawn E.R., Haddock J.E., Mallick R.B. Performance of Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures in the United States / National Center for Asphalt Technology, 1997.

64. Nunn M., Ferne B.W. Design and Assesment of Long-Life Flexible Pavements. / Transportation Research Circular № 503, 2001: Perpetual Bituminous Pavements.

65. Gratz B. Landzeitwirkung von dunner Schichten bezüglich der Erhaltung relevanter Oberflächenmerkmale // Bitumen, 1998.-№ 2, s. 67-70.

66. Veldkamp L.J.T. High Quality Thin Wearing Courses made with Stone Mastic Asphalt 0/6 and 0/3.

Г.Н. Кирюхин, Е.А. Смирнов

**ПОКРЫТИЯ ИЗ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО
АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Редактор И. Дмитриева

Корректор Г. Иванова

Подписано в печать 31.08.2009.

Печ. л. 11,0. Тираж 1000 экз. Зак. 1076

Отпечатано в ООО «Чебоксарская типография №1»
428019, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 15