ПЛЮСЫ И МИНУСЫ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА «СУПЕРПЕЙВ»

Аббревиатура «Суперпейв» (Superpave) обозначает **Sup**erior **Per**formance **Pave**ments, т.е. метод проектирования составов асфальтобетонных смесей для дорожных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками. Основные элементы рассматриваемого метода были разработаны в период с 1987 по 1993 год в рамках Стратегической программы дорожных исследований (SHRP) с привлечением Института Асфальта и ведущих университетов США. Программа исследований стоимостью 150 млн. долларов предназначалась для улучшения эксплуатационных показателей и долговечности дорог Соединенных Штатов и повышения безопасности автомобильного движения.

Разработчики системы «Superpave» поставили перед собой благороднейшую цель: установить принципиально новый научно - обоснованный комплекс показателей качества битумов и асфальтобетонов, характеризующих сдвигоустойчивость и трещиностойкость асфальтобетонных покрытий при расчетных климатических и транспортных условиях в течение заданного периода эксплуатации. Прогнозирование работоспособности и долговечности асфальтобетонных покрытий в различных условиях эксплуатации относится к одной из сложнейших проблем дорожной отрасли. Трудности решения данной проблемы обусловлены с одной стороны сложностью процессов нелинейного деформирования и разрушения битумных материалов, а с другой стороны необходимостью учета влияния внешних факторов (уровня напряжений, температуры, влажности, вида и режимов нагружения, агрессивности окружающей среды и пр.). Поэтому исследования в направлении дальнейшего развития науки об асфальтобетоне проводятся во многих странах. В США они продолжаются в рамках других программ и грантов, действующих в настоящее время, в том числе под брендом «Superpave».

В систему «Superpave» вошли 3 взаимосвязанные компонента, последовательно обновив нормативную базу AASHTO и ASTM:

– SHARP - технические условия и методы испытаний битума;

– Superpave - технические условия и метод проектирования составов асфальтобетонных смесей с обязательным определением поровых характеристик образцов асфальтобетона на разных стадиях уплотнения;

– методы испытаний и система анализа реологических свойств асфальтобетона, ориентированные на использование математических моделей работоспособности и компьютерного программного обеспечения.

Технические условия на битумные вяжущие и соответствующие методы реологических испытаний являются наиболее завершенной частью реализованной программы исследований. Кардинально изменились не только стандартные методы испытаний, но и подход к нормированию показателей качества битумных вяжущих для асфальтобетонных смесей. Марку битумного вяжущего принято характеризовать температурным интервалом работоспособности (PG Grade), который соответствует минимальной и максимальной расчетным температурам асфальтобетонного покрытия в рассматриваемом регионе строительства.

Марку битумного вяжущего PG grade определяют на основании результатов реологических испытаний, которые проводятся при максимальной расчетной температуре (взамен определения температуры размягчения по КиШ) и минимальной расчетной температуре (взамен определения температуры хрупкости по Фраасу). Максимальная температура, характеризующая теплостойкость битумного вяжущего, может принимать значения с градацией 6 ^{o}C в диапазоне от плюс 46 ^{o}C до плюс 82 ^{o}C. Минимальная температура, характеризующая низкотемпературные свойства битума, может принимать значения в диапазоне от минус10 ^{o}C до минус 46 ^{o}C при той же градации 6 ^{o}C. При выборе марки вяжущего требования к показателям деформативности и вязкоупругим свойствам остаются неизменными, а изменяется температурный диапазон, в котором эти требования должны выполняться.

Таким образом, при проектировании составов асфальтобетонных смесей марку битумного вяжущего выбирают исходя из климатических условий эксплуатации и назначения асфальтобетонного покрытия. По диапазону температур работоспособности для 4-х климатических зон США в качестве базовых приняты следующие марки вяжущих: PG 52-28, PG 58-22, PG 58-16 и PG 64-10.

При выборе марки битума или полимерно-битумного вяжущего (ПБВ) заказчик и проектировщик вправе принимать не только наиболее вероятные для рассматриваемого региона (средние) величины высоких и низких температур, которые соответствуют 50 % надежности. Надежность в данном случае представляет собой выраженную в процентах вероятность того, что фактическая температура в регионе не будет выходить за пределы температур воздуха (однодневной низкой и семидневной средней высокой), которые рассчитываются по многолетним данным ближайшей метеостанции. В зависимости от заданной степени риска проектировщиком могут быть приняты марки битума с более высокими или более низкими значениями

температур. Поэтому в качестве расчетных температур покрытия можно принимать и менее вероятные значения, как это показано на рис. 1.

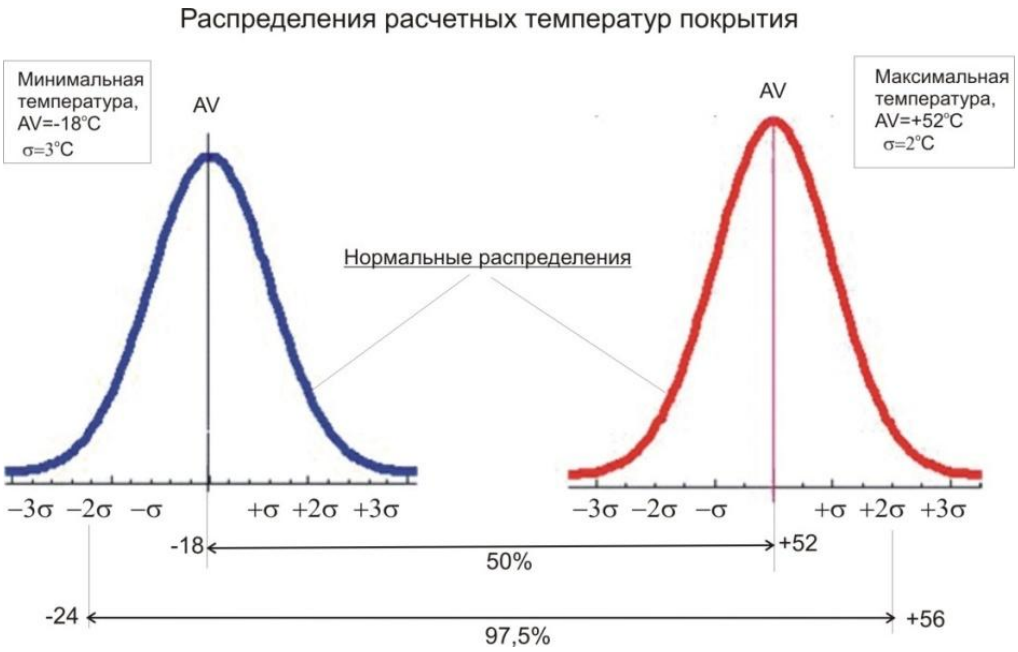

Рис. 1. Пример определения расчетных температур покрытия для выбора марки битумного вяжущего (*AV* – средние значения температур, *σ* - средние квадратические отклонения)

Более высокая надежность, указанная на рисунке величиной 97,5 %, означает соответственно меньший риск выбора неудовлетворительной марки вяжущего. Чтобы повысить надежность выбора для рассматриваемого региона удовлетворительной марки битума с 50 % до 98 % необходимо снизить низкую расчетную температуру покрытия на 6 °С и повысить максимальную расчетную температуру на 4 °С. Исходные же предпосылки при этом остаются неизменными, - это метеорологические данные, зафиксированные на ближайшей метеостанции в предшествующие годы за период не менее 20 лет.

Для снижения риска появления пластических деформаций в асфальтобетоне в случае увеличения транспортных нагрузок, а также на участках торможения, рекомендуется применять битумные вяжущие более высокой марки по теплостойкости. Отсюда очевидно, что метод «Superpave» является приближенным и достаточно условным, поэтому должен постоянно корректироваться по мере получения новых данных натурных наблюдений за работоспособностью асфальтобетонных покрытий.

Краткий анализ технических условий и методов испытаний, разработанных по программе «SHRP» для битумов и ПБВ, приведен в табл. 1.

Таблица 1. Методы испытаний и нормирования битумных вяжущих

<table>
<tr><th>Элементы «SHRP»</th><th>Назначение</th><th>Преимущества</th><th>Недостатки</th></tr>
<tr><td><u>Технические условия:</u>
Принципиально новый подход к нормированию реологических свойств битумов и ПБВ</td><td>Повышение требований к качеству битума, взаимосвязь с эксплуатационными показателями асфальтобетона в покрытии.</td><td>Дифференцированный выбор требуемой марки битума в зависимости от климатических условий региона</td><td>Не вполне обоснованный выбор нужной марки битума в зависимости от дорожной конструкции и грузонапряженности движения.</td></tr>
<tr><td><u>Испытания и приборы</u> (основные)

1. Ротационный вискозиметр (RV)</td><td>Для оценки свойств:

- при технологических температурах перемешивания и уплотнения смеси;</td><td rowspan="6">1.Возможность задавать различные температурно-временные условия деформирования образцов при испытании.
2. Высокая точность измерений.
3. Цифровое протоколирование результатов испытаний и создание баз данных.</td><td rowspan="6">1. Не учитываются нелинейные свойства при испытании вяжущих.
2.Сложность эксплуатации, обслуживания и калибровки приборного обеспечения.
3.Необходимость высокой квалификации операторов и лаборантов.
4. Дороговизна лабораторного оборудования (до 1 млн. $), как и его обслуживания.</td></tr>
<tr><td>2. Динамический сдвиговой реометр (DSR)</td><td>- при высоких и умеренных температурах эксплуатации;</td></tr>
<tr><td>3.Реометр для испытания образцов-балочек на изгиб (BBR)</td><td rowspan="2">- при низких температурах эксплуатации.</td></tr>
<tr><td>4.Испытание образцов вяжущего при одноосном растяжении (DTT)</td></tr>
<tr><td>Вспомогательные методы испытаний

5.Старение вяжущего в тонкой пленке (RTFO)</td><td>с учётом влияния:

- условий приготовления смеси;</td></tr>
<tr><td>6.Старение при высоких температурах под давлением (PAV)</td><td>- времени эксплуатации покрытия.</td></tr>
</table>

На основании данных табл. 1 приходим к выводу, что для того, чтобы применять технические условия «Superpave» в России необходимы не только

кардинальные изменения нормативно-технической базы в области битумных вяжущих, но и привязка нормативных требований «SHRP» к местным условиям. Новые методы испытания битумных образцов отличаются повышенной сложностью, поэтому могут найти применение в крупных российских корпорациях по производству органических вяжущих для дорожного строительства и в дорожных научно-исследовательских центрах. Для проведения входного контроля качества битумов и ПБВ в строительных лабораториях подрядных организаций на предмет соответствия паспортным данным необходимы более простые методы испытаний вяжущих.

Необходимо иметь в виду, что методы испытаний битумных вяжущих постоянно совершенствуются. Так реологические показатели, определяемые при динамическом сдвиге в режиме синусоидального нагружения (метод DSR), на практике плохо коррелируются с устойчивостью асфальтобетона к пластическим деформациям. Поэтому на базе динамического реометра был разработан новый метод испытания MSCR для определения деформации ползучести битума в режиме импульсного нагружения и восстановления деформации согласно AASHTO TR 70-07. Этот метод по существу усовершенствовал испытания SHARP, на которые дана ссылка в табл. 1. В качестве примера на рис. 2 показан фрагмент результатов испытания битума на ползучесть методом MSCR в режиме импульсного нагружения.

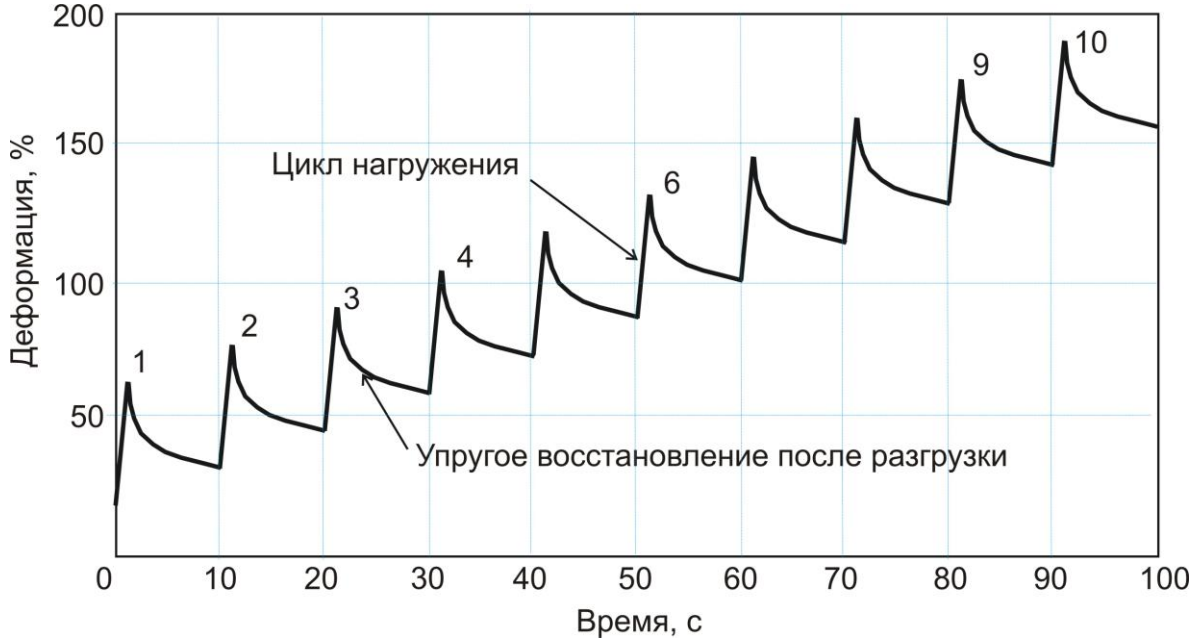

Рис. 2 Пример испытания битума методом MSCR при импульсном уровне нагрузки 100 Па

Каждый цикл испытания включает нагружение образца в течение 1 с и разгрузку для восстановления упруго-эластичной деформации в течение 9 с.

Испытания проводят при трех уровнях нагрузки (100 Па, 1600 Па и 3200 Па). Определяемый по новому методу MSCR показатель скорости ползучести битумов и ПБВ оказался более тесно связанным со скоростью накопления пластических деформаций асфальтобетона по сравнению с вязкоупругими характеристиками, определяемыми методом DSR.

Второй компонент системы «Superpave» разрабатывался исходя из процедур подбора асфальтобетонных смесей по методу Маршалла, наиболее распространенному в мировой практике, и методу Хвима, до сих пор действующему в дорожных департаментах западных штатов США. Взамен был принят принципиально новый метод приготовления лабораторных образцов в приборе вращательного (гироскопического) уплотнения с углом вращения 1,25 град, что, кстати, отличает его от аналогичного французского уплотнителя асфальтобетонной смеси.

Наряду с обязательным определением физических свойств каменных материалов и лабораторных образцов асфальтобетона первоначально предусматривался также комплекс методов испытаний на сдвигоустойчивость и трещиностойкость. В зависимости от суммарного числа расчетных осевых нагрузок ESAL на одну полосу проезжей части дорожного покрытия планировалось проводить испытания асфальтобетонных образцов в рамках трехуровневого проектирования составов смесей в соответствии с табл. 2.

Таблица 2 Проектирования асфальтобетона на 3-х уровнях «Superpave»

Уровень (категория дороги)	ESAL (суммарная нагрузка)	Требования к испытаниям образцов асфальтобетона
1	менее 10^6	Выбор материалов, поровые характеристики и водостойкость по AASHTO T283.
2	до 10^7	+ Отдельные испытания на сдвигоустойчивость и трещиностойкость.
3	более 10^7	+ Полный комплекс испытаний на сдвигоустойчивость и трещиностойкость.

Основные элементы «Superpave» на трех уровнях проектирования и анализа качества асфальтобетонных смесей представлены в табл. 3.

Таблица 3. Система проектирования и анализа качества асфальтобетонных смесей

Элементы «Superpave»	Назначение	Преимущества	Отличия и недостатки
Оценка качества исходных каменных материалов по стандартам AASHTO и ASTM.	Проверка соответствия показателей качества предъявляемым требованиям.	Входной и текущий контроль обязателен	Методы испытаний частично отличаются от стандартных методов России и стран ЕЭС.
Подбор зернового состава минеральной части.	Создать оптимальную структуру минерального остова.		Отличие размеров и формы отверстий сит от принятых в стандартах России и европейских странах.
Приготовление пробных замесов смесей с различным содержанием битумного вяжущего.	Для изготовления лабораторных образцов		Объем замеса смеси и трудоемкость значительно выросли. Масса одного образца достигает 7 кг, что почти в 10 раз выше, чем по ГОСТ12801-98.
Изготовление образцов в уплотнителе SGC.	Подбор зернового состава и оптимизация содержания битума по заданной остаточной пористости асфальтобетона	1. Снижение дробимости щебня. 2.Оценка смесей по критериям уплотняемости. 3. Отсутствие шума.	1.Повышенная трудоемкость. 2.Слишком тяжёлые формы и образцы (до 20 кГ), для женского персонала не допустимы.
Определение поровых характеристик и водостойкости образцов при расколе	1-й уровень подбора асфальтобетонной смеси	1. Не требуется 15 сут. выдерживания образцов в воде.	При водонасыщении 55-80% от остаточной пористости образцов 7%. 1. Сложность подготовки образцов, большая погрешность от водонасыщения. 2. Наличие морозильной камеры до -20 ^{o}C.
Практически нереализованная часть «Superpave»:			
Испытания образцов на косвенное растяжение методом IDT	Трещиностойкость, 2-й уровень проектирования	Усталостные режимы нагружения	1. Не отражает напряженное состояние асфальтобетона в покрытии.

			2. Дополнительные затраты на оборудование и подготовку образцов.
Испытания образцов в сдвиговом приборе SST	Сдвигоустойчивость, 3-й уровень проектирования асфальтобетонной смеси	1. Возможность задавать виды и режимы нагружения. 2. Высокая точность измерений. 3. Цифровая обработка и протоколирование результатов.	1.Высокая квалификация операторов. 2.Длительный период подготовки и испытания образцов. 3. Сложность и дороговизна оборудования и его обслуживания.

Первый уровень проектирования и анализа асфальтобетонных смесей был внедрен дорожными департаментами практически во всех штатах США, а от второго и третьего уровня проектирования по существу отказались более 10 лет назад, но разработанное оборудование применяется в исследовательских целях. На данный момент метод «Superpave» не применяется при строительстве асфальтобетонных покрытий аэродромов, где действует модифицированный метод Маршалла, а также военными строителями и дорожными службами городского хозяйства США.

На основании проведенного анализа можно заключить, что новые методы механических испытаний асфальтобетонных образцов в системе «Superpave» окончательно не определились. С одной стороны, приборное обеспечение существенно улучшилось, что позволило проводить испытания асфальтобетона при различных температурах, режимах нагружения и напряженно-деформированных состояниях образцов. С другой стороны, рассматриваемые приборы применяются относительно редко из-за сложности проведения испытаний и неадекватности первоначальных моделей прогнозирования работоспособности дорожных покрытий. Поэтому в США даже в исследовательских целях предпочитают применять вместо сложного сдвигового прибора SST (рис.3) колеемер APA и более простой прибор SPT для определения динамического модуля упругости и ползучести асфальтобетона при одноосном циклическом сжатии с возможностью бокового давления на образец через мембрану (рис.4).

Рис. 3. Прибор SST для испытания асфальтобетона на сдвиг

Рис. 4. Испытательный стенд SPT для определения динамического модуля упругости и ползучести асфальтобетона при одноосном циклическом сжатии

Прибор SPT представляет собой мобильный испытательный стенд для определения динамического модуля упругости и ползучести асфальтобетона на образцах, приготовленных по методу «Superpave» (Рис.5).

Рис. 5. Испытание в камере SPT цилиндрического керна высверленного из образца асфальтобетона, приготовленного по методу «Superpave»

Однако и альтернативные методы испытаний образцов асфальтобетона и соответствующее оборудование также имеют как преимущества, так и недостатки. Например, колеемер APA обеспечивает передачу динамической нагрузки на образец через упругий шланг, что в принципе отличается от нагружения образцов-плит движущимся колесом в соответствии с европейскими нормами EN 12697-22. В соответствии с поставленными целями это необходимо учитывать при переходе на новую систему проектирования составов и контроля качества асфальтобетонных смесей.

По первоначальному замыслу после 2-го и 3-го уровня проектирования асфальтобетона методом «Superpave» должны были быть получены прогнозируемые результаты изменения следующих эксплуатационных характеристик асфальтобетонного покрытия в течение 20 лет эксплуатации: глубины колеи, суммарной длины усталостных трещин и удельной протяжённости температурных трещин. Практически такие же цели преследует и новый американский механико-эмпирический метод проектирования асфальтобетонных покрытий (MEPDG), в разработку которого внесли существенный вклад результаты испытаний асфальтобетонов на испытательном стенде SPT. Этот уникальный прибор позволяет задавать различные режимы нагружения и температур испытания цилиндрических образцов не только при одноосном, но и трехосном сжатии.

Причем в соответствии с техническим заданием стоимость испытательного стенда SPT не должна была превышать 50 тыс. $ США, что значительно ниже стоимости первоначального комплекса оборудования.

Что касается системы компьютерного программного обеспечения «Superpave», то на данный момент работа в этом направлении, по-видимому, ещё далека от завершения. Алгоритмы прогнозирования колееобразования, усталостного и низкотемпературного трещинообразования в асфальтобетонных покрытиях пока не нашли приемлемого экспериментального подтверждения и нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Поэтому исследовательские работы в указанном направлении продолжаются.

С внедрением метода «Superpave» в дорожных департаментах США изменилось следующее:

– Приведена к единообразию документация по проектированию составов и контролю качества асфальтобетона на национальном уровне.

– Повысилось качество применяемых дорожных битумов.

– Увеличилась доля применения полимерно-битумных вяжущих различных марок в соответствии с климатическими условиями регионов и фактической загруженностью покрытий.

– Минеральная часть асфальтобетонных смесей стала в большей степени ориентирована на применение дробленых каменных материалов с угловатой формой зерен.

– Большее внимание стали уделять зерновым составам минеральной части асфальтобетонных смесей.

– Каркасные смеси на основе крупных фракций щебня (номинальный размер зерен, определяемый рассевом на ситах с отверстиями квадратной формы, должен быть 9,5 мм, 12,5 мм, 19 мм, 25 мм или 37,5 мм) стали чаще применяться в конструктивных слоях дорожных покрытий.

– С внедрением экономического стимулирования повысилась значимость контроля качества при строительстве и приемке асфальтобетонных покрытий.

Указанные изменения повлекли за собой увеличение работы уплотняющей техники, необходимой для обеспечения требуемой плотности асфальтобетонных покрытий. К тому же для дорог с интенсивным автомобильным движением требования к степени уплотнения асфальтобетонных покрытий также повысились. Поэтому в большинстве штатов Америки при применении смесей типа «Superpave», как правило,

предписывается применять за одним асфальтоукладчиком три-четыре катка и использовать пневмоколесный каток для промежуточного уплотнения.

Необходимо отметить, что по сравнению с европейскими странами в США при строительстве автомобильных дорог применяют в основном менее плотные асфальтобетоны. Американские стандарты допускают применять в верхних слоях дорожных покрытий асфальтобетонные смеси практически без минерального порошка. Примечательно, что максимальное допустимое содержание частиц мельче 75 мкм в асфальтобетонных смесях обычно не превышает 5-10 %, что ниже требований к содержанию минерального порошка в аналогичных смесях по европейским стандартам, при этом, чем выше марка смеси по крупности, тем меньше должно быть в ней каменной мелочи.

В соответствии с международным опытом проектирования оптимальных составов асфальтобетонных смесей большое значение имеют климатические условия, как при строительстве, так и при эксплуатации асфальтобетонных покрытий, а также применяемые каменные материалы и битумы, транспортные нагрузки, основания дорожных одежд и другие факторы, влияющие на срок службы асфальтобетона. Это естественным образом влияет и на выбор оптимальной технологии приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси. Исторически сложилось так, что направления развития американских и европейских технологий асфальтобетона отличаются друг от друга.

Для приготовления асфальтобетонных смесей в США применяют в основном смесители непрерывного действия, тогда как в Европе наибольшее развитие получили асфальтобетонные смесители периодического действия. Производительность смесителей непрерывного действия, как правило, выше, что оправдывает их применение при больших объемах и высоких темпах скоростного строительства асфальтобетонных покрытий. Однако при их использовании необходимо применять в обязательном порядке фракционированные каменные материалы. В смесителях периодического действия проектный состав может быть выдержан с помощью горячего грохота даже в случае использования рядового щебня, представленного смесью фракций разной крупности.

Технологии укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей и соответствующие технические средства также обладают характерными отличительными признаками. Американские асфальтоукладчики предназначены в основном для распределения и выравнивания асфальтобетонной смеси в процессе строительства дорожных покрытий.

Современные асфальтоукладчики, которые производятся в Европе, снабжены активными уплотняющими рабочими органами (трамбующем брусом, виброплитой, прессующими планками в различных комбинациях). С помощью задаваемых режимов рабочих органов (частоты и амплитуды воздействия) достигается значительное предварительное уплотнение горячей асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком. Это позволяет отказаться частично, а иногда и полностью, от катков.

Необходимость достижения максимальной плотности асфальтобетона за короткий промежуток времени особенно востребована при пониженных температурах окружающего воздуха в момент укладки и при использовании трудноуплотняемых смесей, т.к. недостаточное уплотнение покрытия приводит к колееобразованию и эрозионным разрушениям. Отказ от предварительного уплотнения асфальтобетонной смеси рабочими органами асфальтоукладчика позволяет значительно увеличить скорость укладки. Но в этом случае требуемая плотность асфальтобетона должна обеспечиваться за счет более интенсивной работы катков.

Таким образом, анализ очевидных преимуществ и недостатков асфальтобетонных технологий «Superpave» показал необходимость их дальнейшего изучения и развития. Для повышения эксплуатационной надёжности асфальтобетонных покрытий необходимо проводить глубокие исследования, как на национальном уровне, так и в рамках международного сотрудничества.

Кирюхин Г.Н., канд. техн. наук., ген. директор
ООО «Институт Дорожных Покрытий», Россия.
Джуманов Р.Б., канд. техн. наук, специалист-
консультант по внедрению Superpave, США
(2014 год)