

*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*

УДК 691.168

ПЛЮСЫ И МИНУСЫ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТО- БЕТОНА «СУПЕРПЕЙВ»

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DESIGN ASPHALT «SUPERPAVE»

Аннотация

Приведены краткая информация и анализ современного метода проектирования асфальтобетона «Суперпейв». Показаны основные достоинства и недостатки асфальтобетонных технологий, которые необходимо учитывать применительно к условиям России.

The summary

The review and analysis of the modern "Superpave" method for designing of asphalt-concrete mixtures based on the information available to the authors. The main advantages and disadvantages of the technology considered relatively to conditions. of Russia.

Аббревиатура «Суперпейв» (Superpave) обозначает **Superior Performance Pavements**, 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 года 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 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 указанном направлении 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 взаимосвязанных 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 определением поровых характеристик уплотненных образцов асфальтобетона;
- методы испытаний и система анализа реологических свойств асфальтобетона с использованием 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, проектируемых по рекомендациям «Superpave». Марка битумного вяжущего определяется интервалом работоспособности (PG Grade) между двумя температурами испытания, соответствующими минимальной и максимальной расчетным температурам асфальтобетонного покрытия в рассматриваемом регионе строительства. При определении марки вяжущего требования к показателям деформативности и вязкоупругим свойствам остаются неизменными, а изменяется температурный диапазон, в котором эти требования должны выполняться.

Марку битумного вяжущего PG grade определяют на основании результатов реологических испытаний, которые проводят при максимальной расчетной температуре (взамен определения температуры размягчения по КиШ) и минимальной расчетной температуре (взамен определения температуры хрупкости по Фраасу). Максимальная температура, характеризующая теплоустойчивость битумного вяжущего, может принимать значения с градацией 6 °C в диапазоне от плюс 46 °C до плюс 82 °C. Минимальная температура, характеризующая низкотемпературные свойства, может принимать значения в диапазоне от минус 10 °C до минус 46 °C при той же градации 6 °C. При выборе марки битума или полимерно-битумного вяжущего (ПБВ) заказчик и проектировщик вправе принимать не только наиболее вероятные в заданном регионе (средние) величины высоких и низких температур, соответствующие 50 % надежности. В зависимости от заданной степени риска в качестве расчетных температур покрытия могут быть приняты и менее вероятные значения. При этом надежность 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.

Таким образом, при проектировании составов асфальтобетонных смесей марка битумного вяжущего назначается по диапазону температур работоспособности исходя из климатических условий эксплуатации асфальтобетонного покрытия. 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.

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

Элементы «SHRP»	Назначение	Преимущества	Недостатки
<u>Технические условия:</u> Принципиально новый подход к нормированию реологических свойств битумов и ПБВ	Повышение требований к качеству битума, взаимосвязь с эксплуатационными показателями асфальтобетона в покрытии.	Дифференцированный выбор требуемой марки битума в зависимости от климатических условий региона	Не вполне обоснованный выбор нужной марки битума в зависимости от дорожной конструкции и грузонапряженности движения.
<u>Испытания и приборы (основные)</u> 1. Ротационный вискозиметр (RV)	Для оценки свойств: - при технологических температурах перемешивания и уплотнения смеси;	1. Возможность задавать различные температурно-временные условия деформирования образцов при испытании. 2. Высокая точность измерений. 3. Цифровое протоколирование результатов испытаний и создание баз данных.	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.
2. Динамический сдвиговой реометр (DSR)	- при высоких и умеренных температурах эксплуатации;		
3. Реометр для испытания образцов балочек на изгиб (BBR)	- при низких температурах эксплуатации.		
4. Испытание образцов вяжущего при одноосном растяжении (DTT)			
Вспомогательные методы испытаний 5. Старение вяжущего в тонкой пленке (RTFO)	с учётом влияния: - условий приготовления смеси;		
6. Старение при высоких температурах под давлением (PAV)	- времени эксплуатации покрытия.		

На основании данных таблицы 1 приходим к выводу, что для того, чтобы применять технические условия «Supergrave» 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. Очевидно, что для проведения входного контроля качества битумов и ПБВ в строительных лабораториях подрядных организаций желательно иметь более простые методы испытаний вяжущих на предмет соответствия паспортным данным.

Второй компонент системы «Supergrave» 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 способа проектирования составов смесей в соответствии с табл.2.

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

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 «Supergrave» 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 °С.
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	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность задавать виды и режимы нагружения. 2. Высокая точность измерений. 3. Цифровая обработка и протоколирование результатов. 	<ol style="list-style-type: none"> 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 «Supergrave» 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 «Supergrave» 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 колеемер АРА или упрощенный прибор SPT для определения динамического модуля упругости и ползучести образцов при одноосном циклическом сжатии.

Однако и указанные методы испытаний образцов асфальтобетона и соответствующее оборудование также имеют как преимущества, так и недостатки. Например, колеемер АРА 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. Прибор SPT представляет собой мобильный испытательный стенд для определения динамического модуля упругости и ползучести асфальтобетона на образцах, приготовленных по методу «Supergrave». В соответствии с поставленными целями это необходимо учитывать при пере-

ходе 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 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 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.
- Минеральная часть асфальтобетонных смесей стала в большей степени ориентирована на применение дробленых каменных материалов с угловатой формой зерен.
- Больше 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 строительства при 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 «Supergave», 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 отличия. 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 рабо-

чими органами (трамбуящем 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 «Supergrave» 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.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кирюхин Геннадий Николаевич. Канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник, ген. директор ООО «Институт Дорожных Покрытий».

Область научных интересов включает проблемы качества дорожно-строительных материалов и долговечности асфальтобетонных покрытий.

Джуманов Рустам Басынович., Канд. техн. наук, консультант, с 1993 года участвовал в апробации и внедрении Supergrave в США и Саудовской Аравии. Сертифицирован по I, II и III уровню Supergrave, а также по контролю качества и метрологии в области строительства асфальтобетонных покрытий. Заинтересован в международном сотрудничестве.