

Влияние PG свойств вяжущих и объемного состава заполнителей на эксплуатационные характеристики асфальтобетонных смесей

Раймон Бонаквист, CEO

Advanced Asphalt Technologies, LLC

Штат Вирджиния, США

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Advanced Asphalt Technologies, LLC

Специализируется на проектировании и испытаниях АБ смесей

- Одна из первых частных лабораторий в США по оценке характеристик вяжущего и асфальтобетонных материалов
- Современная лабораторная база, исследования, разработки, консалтинг
- CEO Раймон Бонаквист. Опыт работы:
 - 22 года в ААТ, LLC
 - 10 лет в Научно-исследовательском центре министерства транспорта США, Маклин, штат Вирджиния

www.advancedasphalt.com

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Сегодняшние темы

- Superpave
 - Концепция исследования
 - Применение на сегодняшний момент
- Усовершенствования Superpave
 - Технические характеристики вяжущих
 - Объемный состав смеси
 - Испытания эксплуатационных характеристик
- Выводы и обсуждение



Концепция исследователей Superpave

(Superpave - акроним от **S**Uperior **P**ERforming Asphalt **P**AVEMENTs
– Асфальтобетонное покрытие высшего качества)

- Классификация вяжущих по эксплуатационным характеристикам (PG)
- Оценка характеристик заполнителей
- Многоуровневая процедура подбора состава смеси
 - Уровень I
 - Объемное проектирование
 - Водостойкость
 - Уровень II
 - Уровень I + устойчивость к колееобразованию
 - Уровень III
 - Уровень I + оценка эксплуатационных характеристик

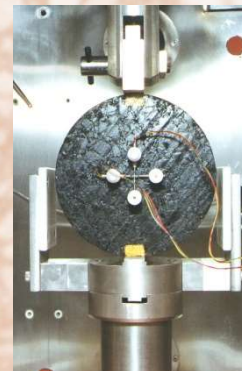
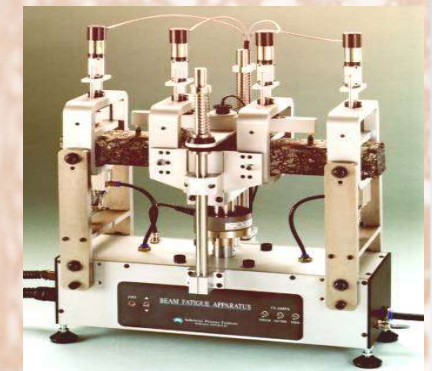
Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Оценка эксплуатационных характеристик Superpave

- Деформация сдвига (ПНСТ 130-2016)
AASHTO T 320
 - Модуль упругости
 - Остаточная деформация
- Усталость при изгибе AASHTO T 321
 - Усталостная трещиностойкость (ПНСТ 135-2016)
- Непрямое растяжение AASHTO T322
 - Низкотемпературная трещиностойкость (ПНСТ 136-2016)



Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Оценка характеристик по Суперпэйв никогда не использовалась в обычном подборе состава АБ смесей

- Высокие затраты
 - Оборудование
 - Обучение
- Применение с моделями для расчета характеристик
 - Ошибки
 - Отсутствие калибровки
 - Неудобства в применении
- Изменение способа ведения дел
 - Агентства и промышленность не готовы

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Применение Superpave на сегодняшний момент

- Применение вяжущего в зависимости от PG классификации
 - AASHTO M 320 (ПНСТ 85-2016)
- Объемное проектирование смесей
 - AASHTO M 323 (ПНСТ 114-2016)
 - Выбор вяжущего (климат, трафик, скорость движения)
 - Требования к заполнителю (трафик, высота слоя)
 - Объемное проектирование (трафик)
 - Водостойкость (AASHTO T 283) (ПНСТ 113-2016)



PG классификация вяжущих

AASHTO M 320

ПНСТ 85-2016

PG классификация

PG 64-22

Максимальная температура дорожного покрытия, °C

Минимальная температура дорожного покрытия, °C



Advanced Asphalt Technologies, LLC

"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Классификация по эксплуатационным характеристикам

Производство



135 °C



**Ротационный
вискозиметр
AASHTO T 316**

**Колее-
образование**



от 46 до 82 °C



**Динамический сдвиговой
реометр (DSR)
AASHTO T 315**

**Усталостное
растрескивание**



от 4 до 40 °C



**Низкотемпературная
трещиностойкость**



от 0 до -36 °C



**Реометр,
изгибающий
балочку (BBR)
AASHTO T 314**

**Простое
растяже
ние
T 313**

← **Исходное вяжущее** →

← **Технологическое старение RTFOT AASHTO T 240** →

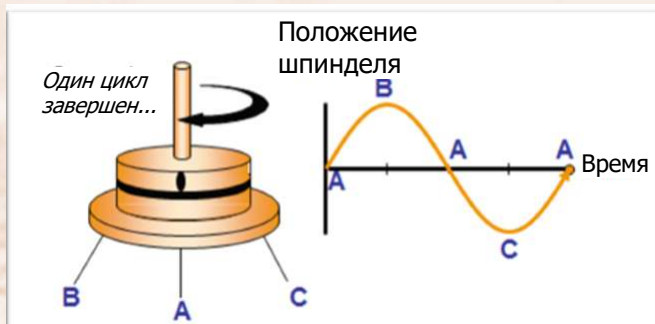
← **Старенит под давлением PAV AASHTO R 28** →

PG классификация проблемы и усовершенствования

| Проблема | Усовершенствование |
|--|---|
| <p>Параметр $G^*/\sin\delta$ как характеристика устойчивости к колееобразованию для полимербитумных вяжущих</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Испытание на ползучесть и восстановление при воздействием многократных нагрузок AASHTO T 350 • Использование MCSR-испытания многократными нагрузками при PG-классификации вяжущих AASHTO M 332 |
| <p>Зависимость между параметром $G^*\cdot\sin\delta$ и усталостной трещиностойкостью при промежуточных температурах покрытия (промежуточных относительно температур PG)</p> | <p>Проводится исследование. Национальная программа совместных исследований в области автомобильных дорог, Проект 9-59, в отношении связи усталостных характеристик битумного вяжущего и асфальтобетонного покрытия</p> |
| <p>Можно ли улучшить методы испытаний?</p> | <p>Проводится исследование. Национальная программа совместных исследований в области автомобильных дорог, Проект 9-61, Методы технологического и длительного старения для точного моделирования старения вяжущего в АБ смесях</p> |

Испытание MSCR

Испытание на ползучесть и восстановление при воздействии многократных нагрузок



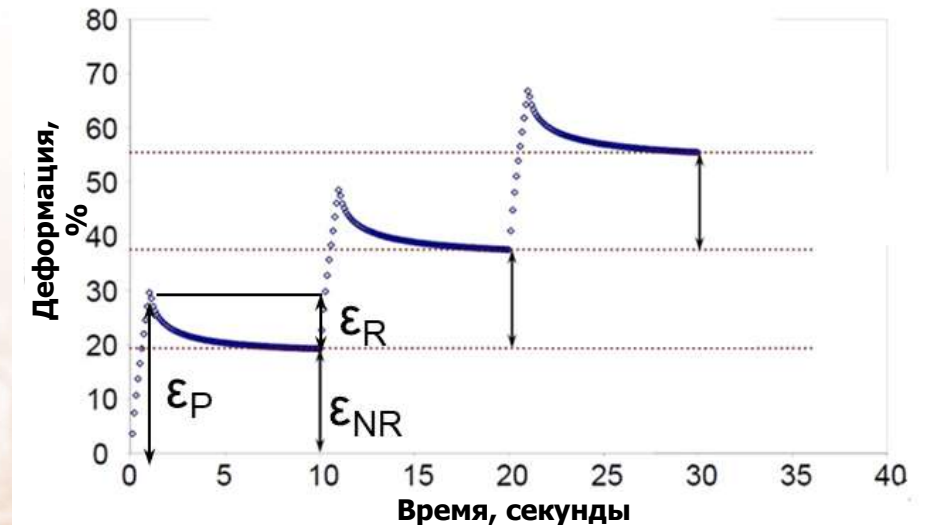
AASHTO T 315

Линейная характеристика

Синусоидальная нагрузка при малой деформации

G^* комплексный модуль сдвига,

δ угол сдвига фаз



AASHTO T 350

Нелинейная характеристика

Контролируемое испытание на ползучесть и восстановление

0,1 кПа и 3,2 кПа

Невосстанавливаемое соответствие, $J_{NR} = \frac{\epsilon_{NR}}{\sigma}$

Восстановление, $R = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_P} \times 100$

Чувствительность к напряжению,

$$J_{NRDiff} = \frac{(J_{NR3,2} - J_{NR0,1})}{J_{NR0,1}} \times 100$$

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

PG классификация вяжущих

сравнение спецификаций

| Критерии | AASHTO M 320 | AASHTO M 332 |
|---|---|---|
| Конструкция | T 316 135 °C Вязкость | T 316 135 °C Вязкость |
| Макс. темп. дорожн. покр., исходное вяжущее | T315 $G^*/\sin\delta$ | T 315 $G^*/\sin\delta$ |
| Макс. темп. дорожн. покр., старение в печи RTFOT | T 315 $G^*/\sin\delta$ | T 350 J_{NR} T 350 R T 350 J_{NRDiff} |
| Промежуточн. темп. дорожн. покр., старение PAV | T 315 $G^*\cdot\sin\delta$ | T 315 $G^*\cdot\sin\delta$ |
| Мин. темп. дорожн. покр., старение PAV | T 313 Жесткость и ползучесть T 313 Значение m | T 313 Жесткость и ползучесть T 313 Значение m |

Объемное проектирование AASHTO M 323 и R 35 (ПНСТ 114)

- Основан на гираторе Supergrave
 - Режим уплотнения зависит от трафика
- Четыре этапа
 - Выбор материала
 - Подбор структуры заполнителя
 - Оптимальное содержание вяжущего
 - Оценка результата



Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Выбор материала

| Параметр | Выбор |
|-------------------------|---|
| Класс вяжущего | Выбор на основе климата, трафика и высоты дорожного полотна |
| Крупный заполнитель | Форма Дроленость поверхности в зависимости от трафика и высоты дорожного полотна |
| Мелкий заполнитель | Чистота и угловатость зерен в зависимости от трафика и высоты дорожного полотна |
| Минеральный заполнитель | Обычно не используется |
| Добавки | Обычно жидкие, для повышения сцепления, если водостойкость может быть проблемой |

Проектирование структуры заполнителя

| Параметр | Выбор |
|---|--|
| Номинальный максимальный размер заполнителя | 37,5, 25,0, 19,0, 12,5 и 9,5 мм (4,75 мм добавляется позже) |
| Градация | Контрольные точки для каждого номинального максимального размера заполнителя Отклонения выше, ниже или вдоль линии максимальной плотности |
| Режим уплотнения: количество гираций | 50, 75, 100 и 125 в зависимости от объема трафика |
| Расчетные критерии | Расчетные пустоты в минеральном заполнителе при 4% воздушных пустот Контрольные точки градации Оценка оптимального содержания вяжущего |

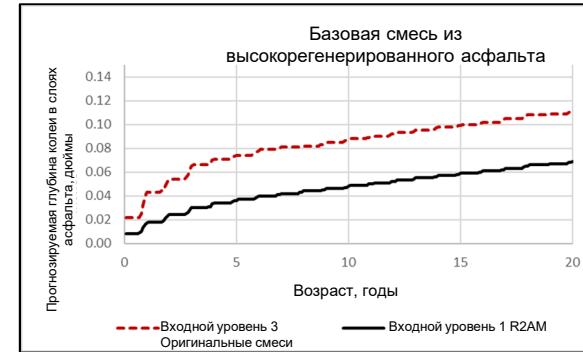
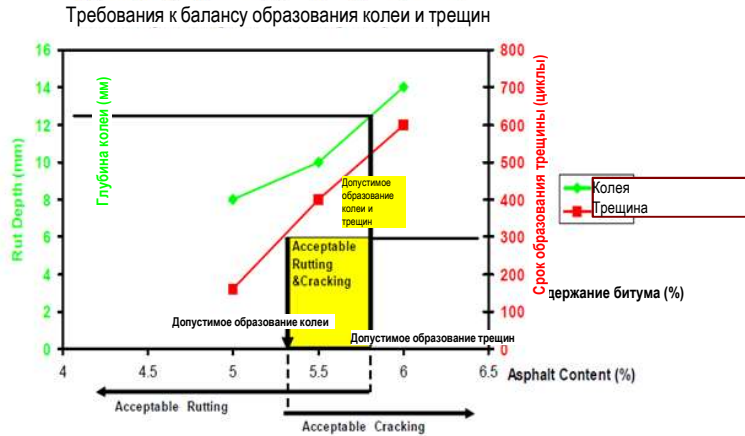
Оптимальное содержание вяжущего и оценка

| Параметр | Выбор |
|---|---|
| Расчетные воздушные пустоты | 4,0 процента |
| Расчетные пустоты в минеральном заполнителе | Зависит от номинального максимального размера заполнителя |
| Расчетные пустоты, заполненные битумом | Зависит от номинального максимального размера заполнителя и интенсивности движения |
| Соотношение пыль / вяжущее | 0,6 – 1,2 для 9,5 – 37,5 мм; 1,0 – 2,0 для 4,75 мм |
| Водостойкость | Оценка смеси на водостойкость по AASHTO T 283 при оптимальном содержании вяжущего (Уменьшение предела прочности на растяжение из-за влаги и замораживания - оттаивания) |

Проектирование Supergrave проблемы и совершенствование

| Проблема | Улучшение |
|---|--|
| Ресайклинг вяжущего | Добавлена процедура диаграмм смешивания |
| Не рассматриваются различные типы смесей | В стандарты добавлены 4,75 мм-смеси Разработаны отдельные процедуры для щебеночно-мастичного асфальта и фрикционных смесей открытого типа Добавлены теплые асфальтобетонные смеси |
| Смеси Supergrave слишком сухие, что приводит к проблемам с долговечностью и преждевременным растрескиванием | Внесение корректировок дорожными агентствами <ul style="list-style-type: none">• Уменьшение числа гираций• Уменьшение расчетных воздушных пустот• Увеличение минимальных пустот в минеральном заполнителе• Задание минимального содержания вяжущего |
| Процедура не включает в себя испытания эксплуатационных характеристик | Объект многих исследований, но пока консенсус не достигнут |

Концепции испытаний эксплуатационных характеристик



Проектирование смесей

Показатель или легкоизмеряемые свойства, коррелирующие с образованием колеи или трещин

- Глубина проникновения
- Энергия растрескивания

Выбор оптимального содержания вяжущего в соответствии с критериями образования колеи и трещин

Проектирование экпл. характеристик

Моделирование свойств и эксплуатационных характеристик на основе механики возникновения:

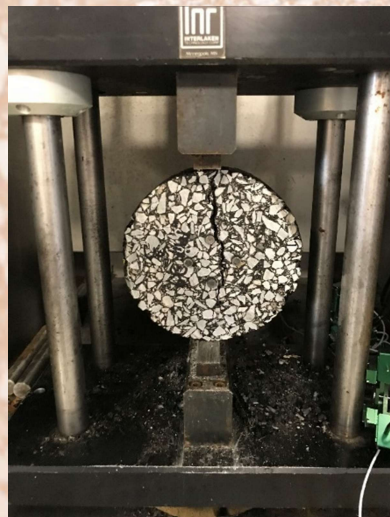
- Колееобразования
- Усталостная трещиностойкости
- Термического растрескивания
- Отраженных трещин

Критерием оценки служит прогнозируемое разрушение

Оценка колеобразования при проектировании смеси



“Гамбургское колесо”



Непрямое
растяжение
(IDT)

Анализатор асфальтобетонного
покрытия (АРА)



Число текучести

Advanced Asphalt Technologies, LLC

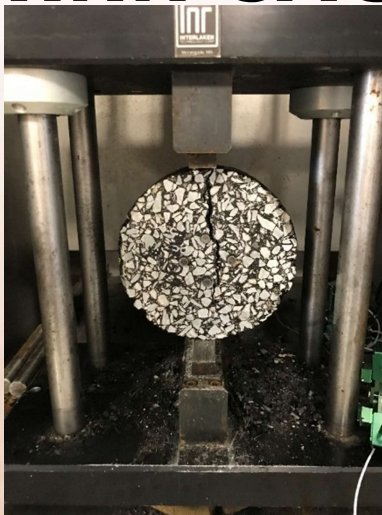


“Engineering Services for the Asphalt Industry”

Оценка трещиностойкости при проектировании смеси



Изгиб полуцилиндров (SCB)



Непрямое растяжение (IDT)



Техасский Overlay-тест



Растяжение уплотненных образцов-дисков (DCT)



Термическое напряжение при низких температурах (TSRST)

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Критерии при проектировании смеси

| Разрушение | Испытание | Свойство |
|------------------------------|---------------------------|--|
| Образование колеи | Гамбургское колесо | Глубина колеи при определенном количестве проходов |
| | АРА | Глубина колеи при определенном количестве проходов |
| | Число текучести | Число текучести (кол-во циклов до пост. осевой деформации) |
| | IDT (непрямое растяжение) | Предел прочности |
| Усталостное растрескивание | SCB (изгиб полуцилиндров) | Индекс гибкости (Отношение энергии разрушения к углу наклона после пика) |
| | | Скорость высвобождения энергии (изменение энергии разрушения в зависимости от глубины пропила) |
| | IDT (непрямое растяжение) | СТ-Индекс (Отношение энергии разрушения к углу наклона после пика) |
| | Техасский Overlay-тест | Циклы до 93% снижения нагрузки |
| Температурное растрескивание | DCT | Энергия разрушения |
| | SCB | Энергия разрушения |
| | TSRST | Температура образования трещины |

Обеспечение эффективности

ПО «AASHTOWare Pavement ME Design»

- Разработано для структурного проектирования дорожного покрытия
- Упругая динамическая нагрузка по слоям + термовязкоупругий анализ
- Расширенная комплексная климатическая модель с учетом влияния температуры и влажности
- Откалиброванные механические эмпирические модели
 - Колееобразование
 - Усталостное растрескивание
 - Низкотемпературное растрескивание
- Модель образования отраженных трещин находится в разработке

FlexPave

- В разработке для эксплуатационных характеристик асфальтобетона
- Трехмерный термовязкоупругий анализ по слоям асфальта
- Анализ упругопластических свойств по слоям для зернистого основания и земляного полотна
- Расширенная комплексная климатическая с учетом влияния температуры
- Анализ непрерывного разрушения для усталостного растрескивания
- Моделирование колееобразования в зависимости от температуры и напряжения

испытания при проектировании AASHTOWare Pavement ME

- Динамический модуль упругости (AASHTO T 378)
(ПНСТ 128-2016)
- Остаточная деформация при обжимающей и циклической нагрузках (AASHTO T 378)
(ПНСТ 128-2016)
- Усталость при 4-точечном изгибе (AASHTO T 321)
(ПНСТ 135-2016)
- Ползучесть и жесткость при низких температурах при непрямом растяжении (AASHTO T 322)
(ПНСТ 136-2016)



Advanced Asphalt Technologies, LLC

"Engineering Services for the Asphalt Industry"

испытания при проектировании FlexPave



- Динамический модуль упругости (AASHTO T 378)
(ПНСТ 128-2016)
- Необратимая деформация при многократной нагрузке (стандарт не опубликован)
- Усталость при циклических нагрузках (AASHTO TP 107)

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Summary

Резюме

- Исследовательские задачи Superpave не реализованы на практике
- Реализованы
 - PG – классификация вяжущих и соответствующее испытания
 - Объемное проектирование смеси с использованием гиратора
- Не реализованы
 - Испытания эксплуатационных характеристик на колееобразование, усталостную и низкотемпературную трещиностойкость
- Research vision of Superpave not implemented in practice
- Implemented
 - Performance Graded Binder Specification and associated testing
 - Volumetric mixture design using Superpave gyratory compactor
- Not implemented
 - Performance tests for rutting, fatigue cracking, and thermal cracking

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Summary

Резюме

- Совершенствование методов
 - MSCR-испытания для модифицированных вяжущих
 - Анализ диаграммы смешивания для ресайклинга вяжущего
- Оставшиеся проблемы
 - Лабораторные методы для моделирования старения
 - Свойства связующего, коррелирующие с усталостной трещиностойкостью
 - Испытания эксплуатационных характеристик при проектировании смеси
- Evolutionary improvements
 - Multiple Stress Creep Recovery for modified binders
 - Blending chart analysis for recycled asphalt pavement binder
- Concerns remain
 - Laboratory procedures to simulate aging
 - Binder properties related to fatigue cracking
 - Performance tests for mixture design

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Summary

Резюме

- Конкурирующие концепции для оценки эксплуатационных характеристик смеси
 - Проектирование сбалансированной смеси
 - Простые испытания для оценки колеобразования и трещиностойкости
 - Инжиниринг эксплуатационных характеристик
 - Фундаментальные испытания в сочетании с прогнозированием эксплуатационных характеристик на основе механических моделей
- Competing concepts for mixture performance tests
 - Balanced mix design
 - Simple tests related to rutting and cracking
 - Performance engineering
 - Fundamental tests combined with mechanics based performance prediction modelling

Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"

Вопросы

Раймон Бонаквист
Advanced Asphalt Technologies, LLC
40 Commerce Circle
Kearneysville, WV 25430
681-252-3329
aatt@erols.com



Advanced Asphalt Technologies, LLC



"Engineering Services for the Asphalt Industry"