Об особенностях проектирования асфальтобетонных смесей по методологии «Superpave» и возможности прогнозирования работоспособности асфальтобетона в верхних слоях дорожной одежды

Заместитель генерального директора ООО «Инновационный технический центр»
Жданов Кирилл Алексеевич

Основные принципы методологии Superpave

Superpave - асфальтобетонное покрытие с наилучшими эксплуатационными характеристиками

Система Superpave это комплексная система проектирования составов асфальтобетонных смесей, удовлетворяющих высоким требованиям к эксплуатационным характеристикам в зависимости от транспортных нагрузок и климатических условий на конкретном участке строительства достигаемых за счет сочетания наиболее подходящего битумного вяжущего и минеральных материалов

Система Superpave применима к плотным горячим асфальтобетонным смесям для слоев оснований и покрытий, направленная на решение проблем:

- *Пластической деформации (колееобразование);*
- *Усталостное трещинообразование;*
- *Низкотемпературное трещинообразование.*

Уровни проектирования в системе Superpave

Уровень 1

Предусматривает проектирование асфальтобетонных смесей, основанное на определении количества воздушных пустот в смеси, количества пустот в минеральном заполнителе и пустот, заполненных битумом. Применяется на большинстве автомобильных дорог

Уровень 2

Применяется для участков автомобильных дорог с высокой грузонапряженностью. Проектирование на Уровне 2 включает в себя проектирование Уровня 1 и дополнительные испытания асфальтобетона с целью определения и прогнозирования эксплуатационных характеристик асфальтобетона такие как:

-определение деформации сдвига асфальтобетона (SST) по AASHTO T320 (остаточная деформация)

-определения прочности на растяжение и жесткости асфальтобетона (IDT) по AASHTO T322 (низкотемпературное трещенообразование)

Уровень 3

Этот уровень проектирования выбирается для покрытий автомобильных дорог с весьма высокой транспортной нагрузкой и в суровых климатических условиях при новом строительстве. Включает в себя проектирование на Уровне 1 и 2. Отличается от уровня 2 более широким диапазоном температур и нагрузок.

Основные нормативные документы, необходимые для проектирования по методологии Superpave

1. **AASHTO M323:** требования к объемному проектированию асфальтобетонной смеси для покрытия с наилучшими эксплуатационными характеристиками

2. **AASHTO M320:** требования к битумному вяжущему с учетом климатических условий в районе строительства объекта и нагрузок от прогнозируемого трафика

3. **AASHTO R35:** методика объемного проектирования асфальтобетонной смеси, основанная на значениях остаточной пористости асфальтобетона, пустот в минеральной части смеси и пустот, заполненных битумом

AA SHTO M323 Объемное проектирование асфальтобетонной смеси Superpave

Требования к вяжущему

Приложения ЭООН, миллион	Количество шагов для увеличения высокотемпературных свойств вяжущего		
	Характер движения		
	Неподвижный	Медленный	Стандартный
<0,3	f	-	-
От 0,3 до <3	2	1	-
От 3 до <10	2	1	-
От 10 до <30	2	1	f
≥30	2	1	1

Требования к минеральным материалам

Приложения ЭООН, миллион	Количество дробленых зерен, %, не менее		Количество пустот в мелкозернистом заполнителе, %, не менее		Эквивалент песка, %, не менее	Количество плоских и удлиненных зерен, %, не более
	Глубина от поверхности, мм		Глубина от поверхности, мм			
	≤100	>100	≤100	>100		
<0,3	55/-	-/-	-	-	40	-
От 0,3 до <3	75/-	50/-	40	40	40	10
От 3 до <10	85/80	60/-	45	40	45	10
От 10 до <30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥30	100/100	100/100	45	45	50	10

AA SHTO M323 Объемное проектирование асфальтобетонной смеси Superpave

Требования к зерновому составу смеси

Размер ячеек, мм	Номинальный максимальный размер заполнителя, проходы, %											
	37,5 мм		25,0 мм		19,0 мм		12,5 мм		9,5 мм		4,75 мм	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
50,0	100											
37,5	90	100	100									
25,0		90	90	100	100							
19,0				90	90	100	100					
12,5						90	90	100	100		100	
9,5								90	90	100	95	100
4,75											90	100
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67		
1,18											30	60
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	12

АА SHTO M323 Объемное проектирование асфальтобетонной смеси Superpave

Требования к асфальтобетонной смеси

Приложени ЭООН, миллион	Требуемая относительная плотность, % от максимальной			Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ), %, не менее						Пустоты, заполнен-ные битумом, %	Диапазон отношен ию пыль – вяжущее вещество
				Номинальный максимальный размер заполнителя, мм							
	$N_{нач}$	$N_{проект}$	$N_{макс.}$	**37,5**	**25,0**	**19,0**	**12,5**	**9,5**	**4,75**		
<0,3	≤91,5	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	70-80	0,6-1,2
От 0,3 до <3	≤90,5	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-78	0,6-1,2
От 3 до <10	≤89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-75	0,6-1,2
От 10 до <30	≤89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-75	0,6-1,2
≥30	≤89,0	96,0	≤ 98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65-75	0,6-1,2

AA SHTO M320 Требования к вяжущему

- Битумное вяжущее должно отвечать требованиям AASHTO M 320 для марки, которая рассчитывается с учетом климатических условий в районе строительства объекта и нагрузок от прогнозируемого трафика.

✓ При определении марки битумного вяжущего проводятся следующие лабораторные испытания.

❖ *Для исходного (несостаренного) битумного вяжущего определяют*:

➢ показатель «Температура вспышки» по AASHTO T 48

➢ показатель «Динамическая вязкость при 135 °C» по AASHTO T 316

➢ показатели «Модуль сдвига (G*)» и «фазовый угол(δ)» по AASHTO T 315

❖ *Для состаренного по AASHTO T 240 (метод RTFOT) битумного вяжущего определяют*:

➢ показатель «Изменение массы после старения» по AASHTO T 240

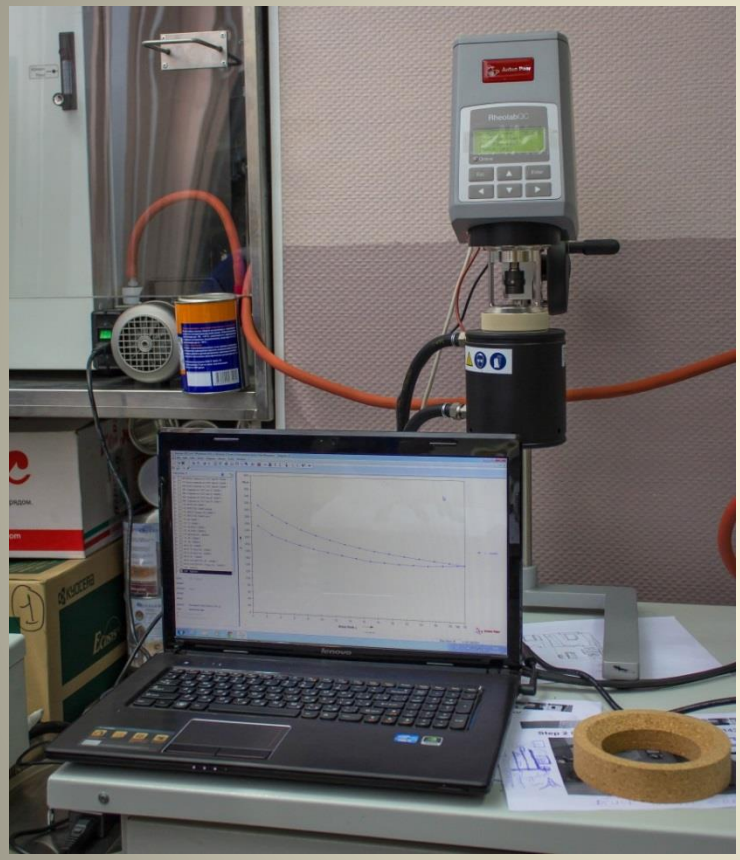
➢ показатели «Модуль сдвига (G*)» и «фазовый угол(δ)» по AASHTO T 315

❖ *Для состаренного по AASHTO T 240 (метод RTFOT) и подготовленного по AASHTO R28 (метод PAV) битумного вяжущего определяют*:

➢ показатели «Модуль сдвига (G*)» и «фазовый угол(δ)» по AASHTO T 315

➢ показатели «Жесткость (S)» и «Наклон кривой ползучести (m)» по AASHTO T 313

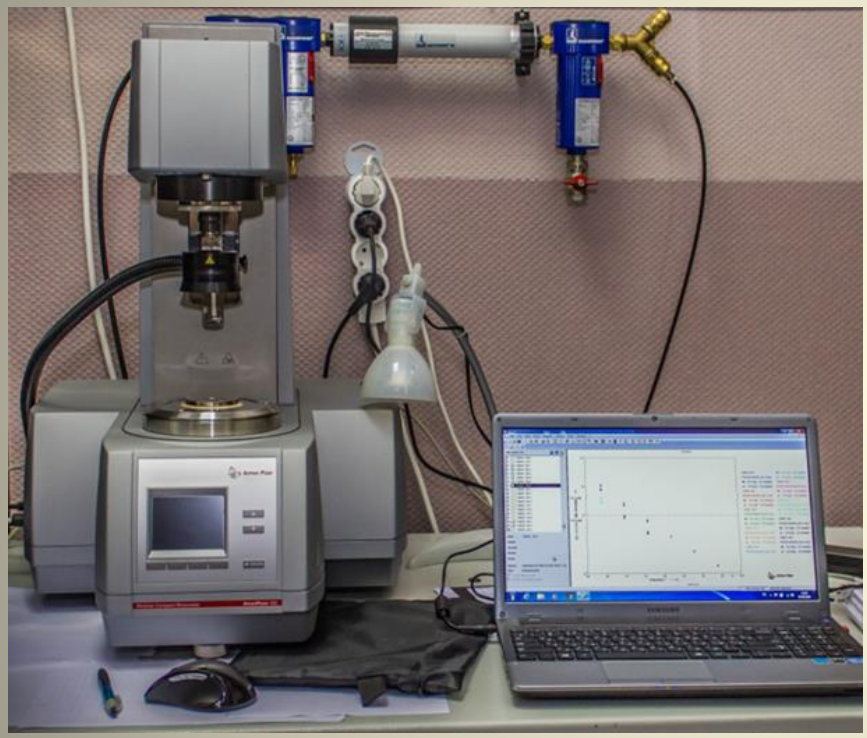
Определение вязкости в соответствии с AASHTO T316



Ротационный вискозиметр для определения динамической вязкости битумных вяжущих

Ротационный вискозиметр (RV) используется в системе Superpave для определения вязкости битума при высоких температурах (более 100°C), с целью удостоверения в том, что вяжущий материал обладает вязкостью, достаточной для перекачивания, а также для определения температур смешивания и уплотнения а/б смеси

Определение реологических характеристик битума в соответствии с AASHTO T315 (DSR)



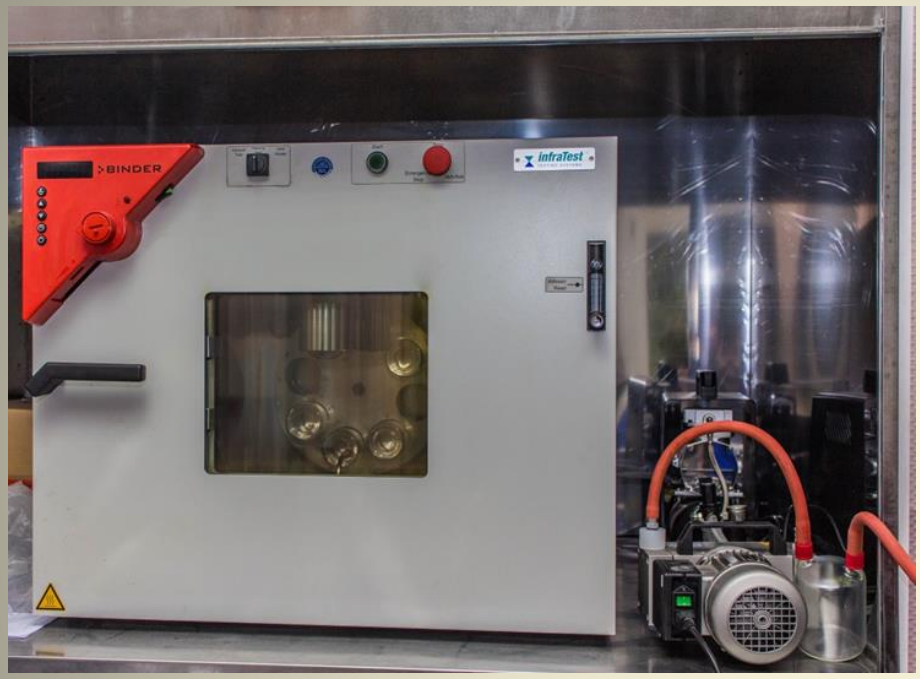
Реометр динамического сдвига определяющий линейные вязкостно-упругие свойства битумных вяжущих

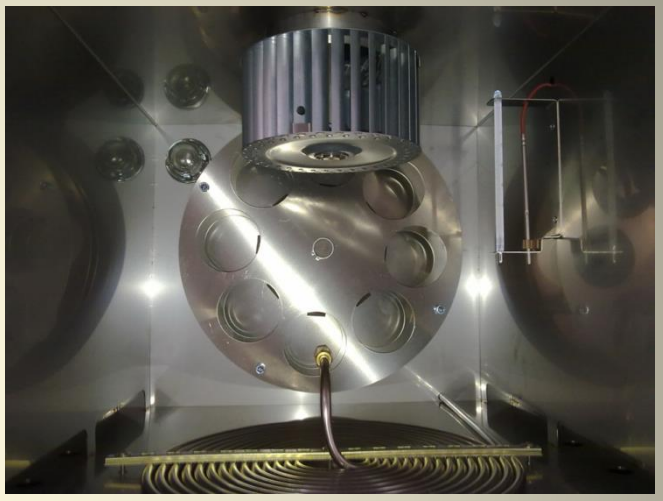
Сущность метода заключается в оценке сопротивления битумного вяжущего сдвиговым нагрузкам, путем приложения к образцу знакопеременной синусоидальной сдвиговой нагрузки и определении комплексного модуля сдвига G* и фазового угла δ.

G* - это соотношение максимального напряжения при сдвиге к максимальной деформации при сдвиге.

Временное запаздывание между приложенным напряжением сдвига и деформацией выражается значением фазового угола δ.

Старение битума в соответствии с AASHTO T240 (RTFOT)





Сушильный шкаф для подготовки проб битума путем искусственного старения под воздействием высокой температуры и воздуха в течение 85 минут.

Также в соответствии с AASHTO T 240 после старения определяется изменение массы битума.

Старение битума в соответствии с AASHTO R28 (PAV)

Битумное вяжущее, состаренное по AASHTO T 240 (метод RTFOT), подготавливается по AASHTO R 28 (метод старения PAV)

Данный метод моделирует старение битумного вяжущего в покрытии за период 7-10 лет

Старение битума в печи под давлением с последующей дегазацией в вакуумной печи

Определение низкотемпературных характеристик вяжущих при помощи реометра с изгибающейся балочкой в соответствии с AASHTO T313 (BBR)

Реометр с изгибающейся балочкой BBR

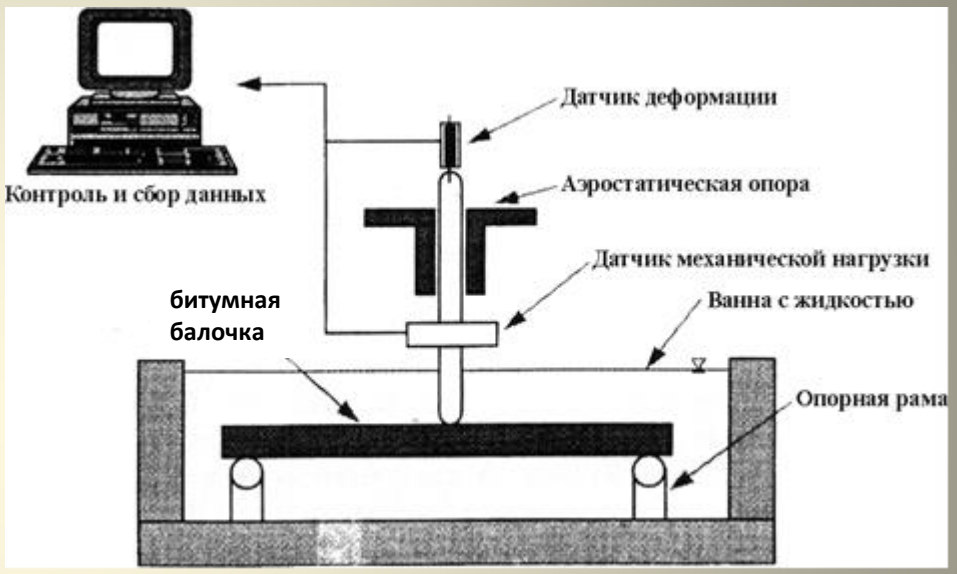


Схема нагружения битумной балочки

Реометр BBR позволяет определить жесткость битума и ползучесть (скорость изменения жесткости во времени)

Подготовка проб

Определение показателей качества битумного вяжущего

На основании полученных результатов испытаний в соответствии с AASHTO M 320 определяют марку битумного вяжущего

Фрагмент таблицы требований к маркам битумных вяжущих в соответствии с AASHTO M 320 :

Классификационные характеристики марок	PG 46			PG 52							PG 58					PG 64					
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Максимальная расчетная температура дорожного покрытия, °C	<46			<52							<58					<64					
Минимальная расчетная температура дорожного покрытия, °C	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Исходное битумное вяжущее																					
Температура вспышки, T48, мин., °C	230																				
Вязкость, T 316:[b] ≤ 3 Па, температура испытаний, °C	135																				
Динамический сдвиг, T 315: G*/sinδ ≥1,00 кПа при 10 рад/с, температура испытаний, °C	46			52							58					64					
Битумное вяжущее состаренное по T 240(RTFOT)																					
Изменение массы после старения,%	не более 1.00																				
Динамический сдвиг, T 315: G*/sinδ ≥. 2,20 кПа при 10 рад/с, температура испытаний,°C	46			52							58					64					
Битумное вяжущее состаренное по T 240 и подготовленное по R 28(PAV)																					
Температура старения PAV °C	90			90							100					100					
Динамический сдвиг, T 315: G*·sinδ мин.≤5000 кПа при 10 рад/с, температура испытаний, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	14	16
Жесткость и ползучесть, T 313:[g] Жесткость(S), ≤300 МПа Ползучесть(m), ≥0,300 температура испытаний, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

AASHTO R35 Рекомендации по объемному проектированию асфальтобетонной смеси SUPERPAVE

Процесс проектирования разделен на следующие этапы:

1. ***Подготовка минеральной части смеси***
2. ***Уплотнение образцов***
3. ***Определение свойств уплотненных образцов***
4. ***Выбор содержания вяжущего для асфальтобетонной смеси***
5. ***Определение водостойкости асфальтобетона***

1. Подготовка минеральной части

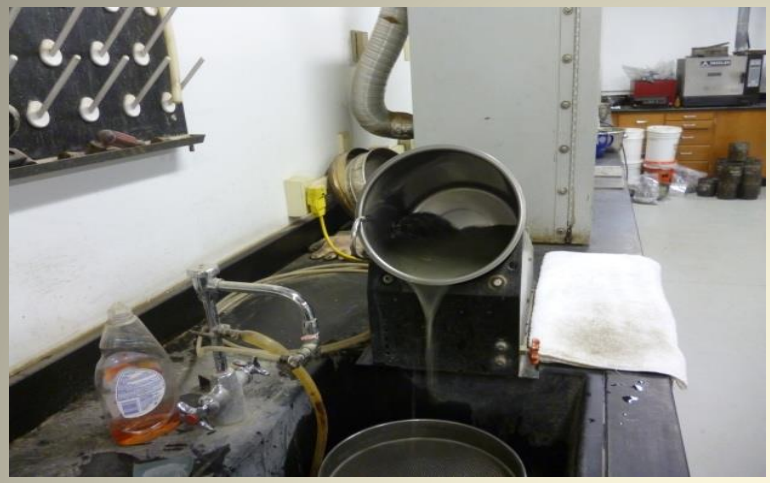
Смешивание в прободелителе

Сортировка в различные емкости

Определение количества плоских и удлиненных зерен в соотношении 5:1 в соответствии с ASTM D4791

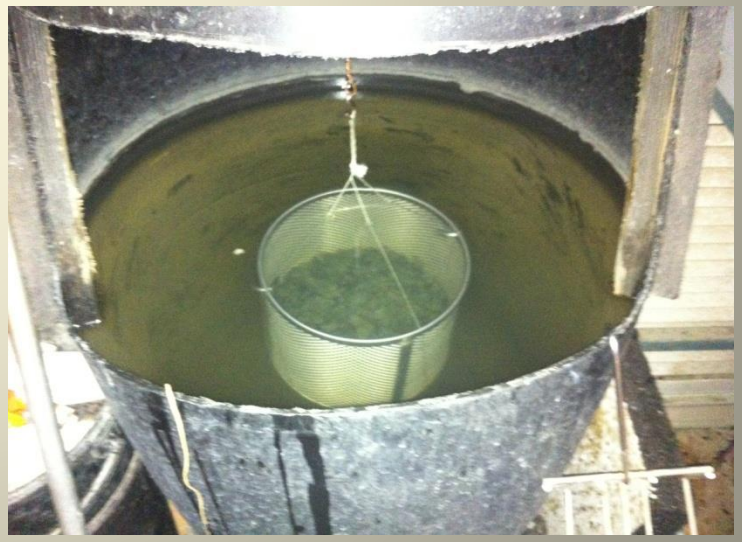
Определение количества дробленых зерен в соответствии с ASTM D5821

1. Подготовка минеральной части смеси



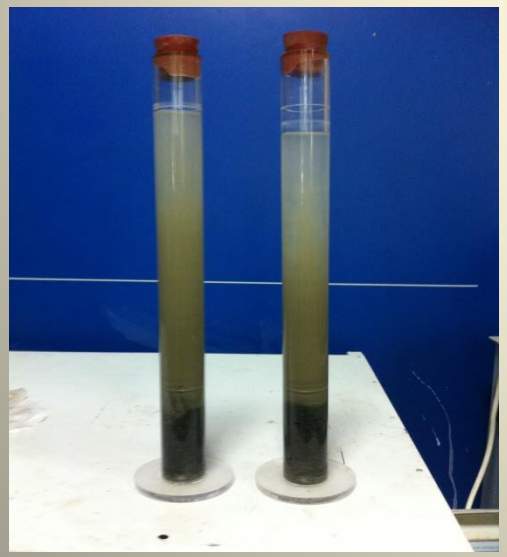
Промывка заполнителей в соответствии с AASHTO T11

Определение зернового состава каждого заполнителя в соответствии с AASHTO T27

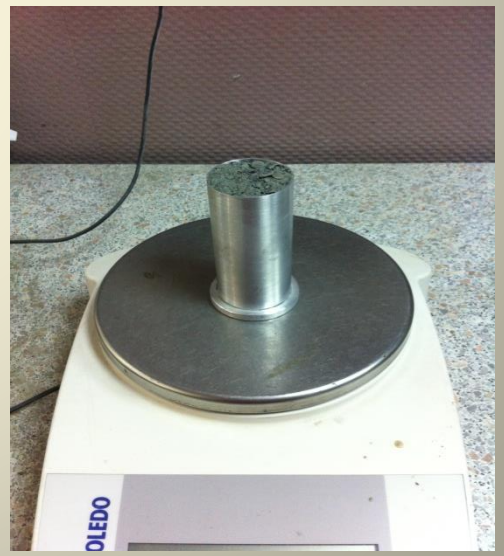


Определение плотности и абсорбции крупного заполнителя по AASHTO T85

1. Подготовка минеральной части



Определение эквивалента песка в соответствии с AASHTO T176



Определение пустотности мелкого заполнителя в соответствии с AASHTO T304

1. Подготовка минеральной части смеси

Поверхностное осушение

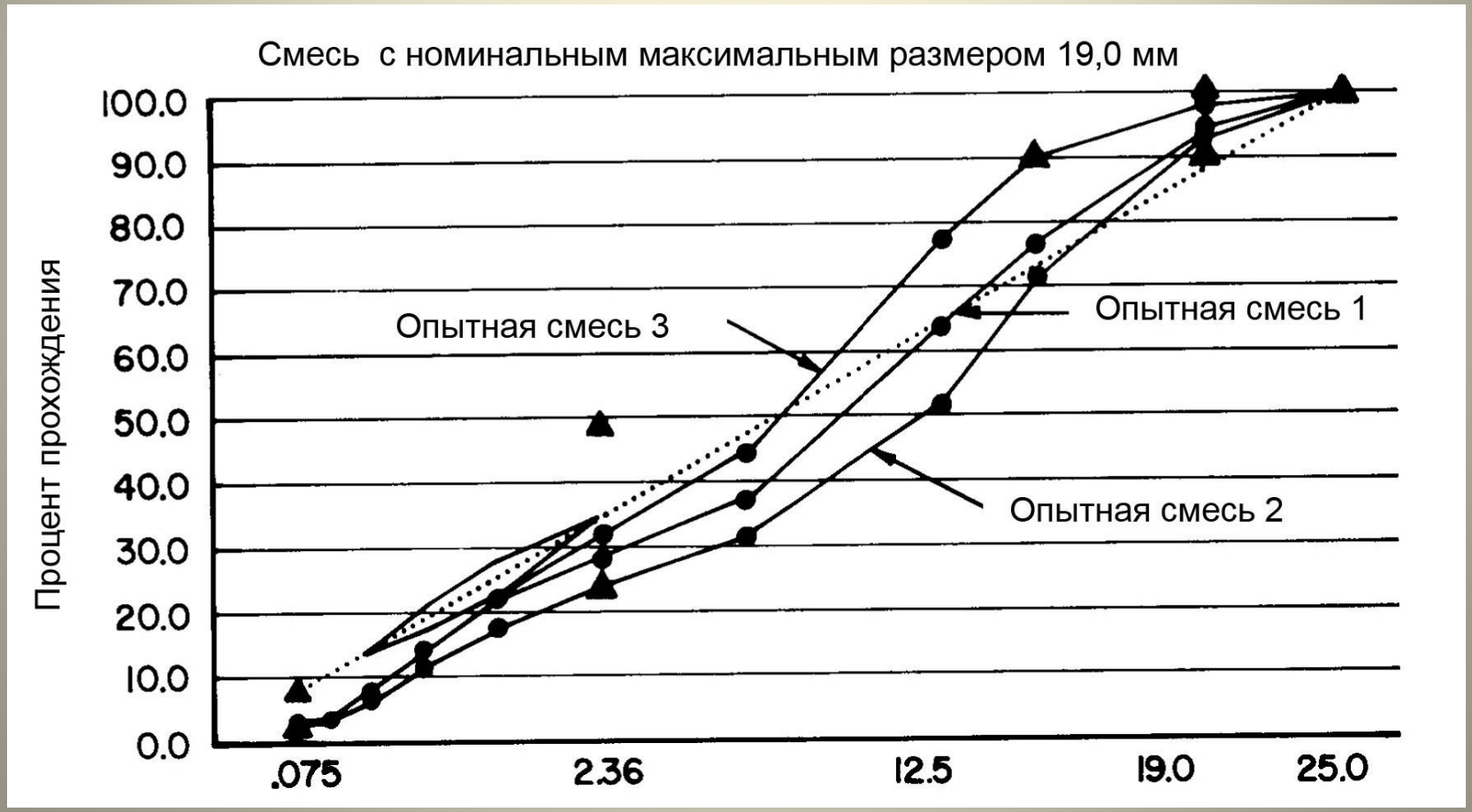
Определение степени высушивания

Определение плотности и абсорбции мелкого заполнителя в соответствии с AASHTO T84

Определение плотности наполнителя по AASHTO T100

1. Подготовка минеральной части смеси

После определения свойств заполнителей проектируются три разных минеральных состава смеси с условием соответствия всех составов требованиям AASHTO M323



2. Уплотнение образцов

Уплотнение образцов производится на вращательном уплотнителе (Гираторе) таким образом, чтобы образец диаметром 150 мм был высотой от 110 до 120 мм. Количество оборотов гиратора выбирается в зависимости от интенсивности движения на участке строительства.

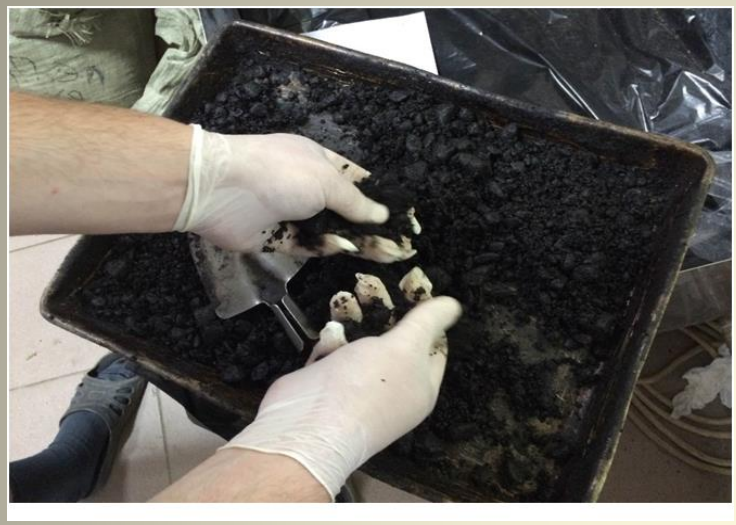
Перемешивание смеси в лопастной мешалке

Смесь засыпается в форму за один прием

Вращательный уплотнитель, (Гиратор)

3. Определение свойств асфальтобетонной смеси

Первоначально определяют максимальную плотность каждой смеси



Определение максимальной плотности смеси в соответствии с AASHTO T209

3. Определение свойств асфальтобетонной смеси

Потом определяют объемную плотность уплотненных образцов.

Определение объемной плотности образцов в соответствии с AASHTO T166

На основании полученных данных вычисляют количество воздушных пустот в асфальтобетоне (Va) и количество пустот в минеральном заполнителе (VMA).

$$V_a = 100 \times \left(1 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right)\right)$$

$$\mathrm{VMA} = 100 \times \left(1 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}}\right)$$

Выбирается тот гранулометрический состав, который максимально удовлетворяет объемным требованиям по AASHTO M323

4. Выбор содержания вяжущего для асфальтобетонной смеси

На выбранном гранулометрическом составе смеси готовят 4 замеса с содержанием вяжущего:

1) равным предполагаемому содержанию вяжущего;
2) на 0,5% менее предполагаемого содержания вяжущего;
3) на 0,5% более предполагаемого содержания вяжущего;
4) на 1,0% более предполагаемого содержания вяжущего.

Образец с меньшим содержанием вяжущего

Образец с большим содержанием вяжущего

(Предполагаемое содержание вяжущего определяется расчетным методом)

5. Определение водостойкости асфальтобетона

Согласно AASHTO M323 водостойкость асфальтобетона должна быть не менее 0,80. Водостойкость асфальтобетона определяется на образцах высотой 95 мм уплотненных на гираторе.

Подготавливают две серии образцов: первая - для испытания в сухом состоянии; вторая - после термостатирования

Каждый образец второй группы насыщают водой под вакуумом в течении 10 мин, потом помещают в герметичный пакет, заливают в пакет 10 мл воды и кладут образец в морозильную камеру на 16 часов.

Вынимают из морозильной камеры и кладут в термостат с температурой воды 60°С на 24 часа

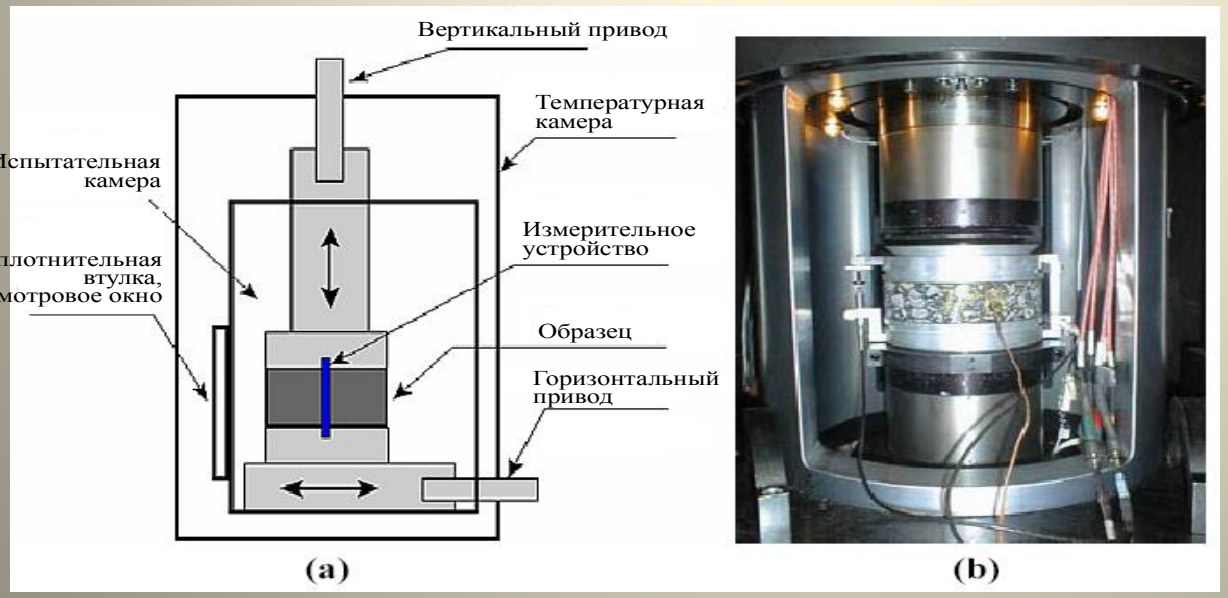
За 2 часа перед испытанием образцы обеих групп выдерживают при температуре 25°С и определяют разрушающую нагрузку каждого образца

Объемное проектирование асфальтобетонной смеси на 2 и 3 уровнях

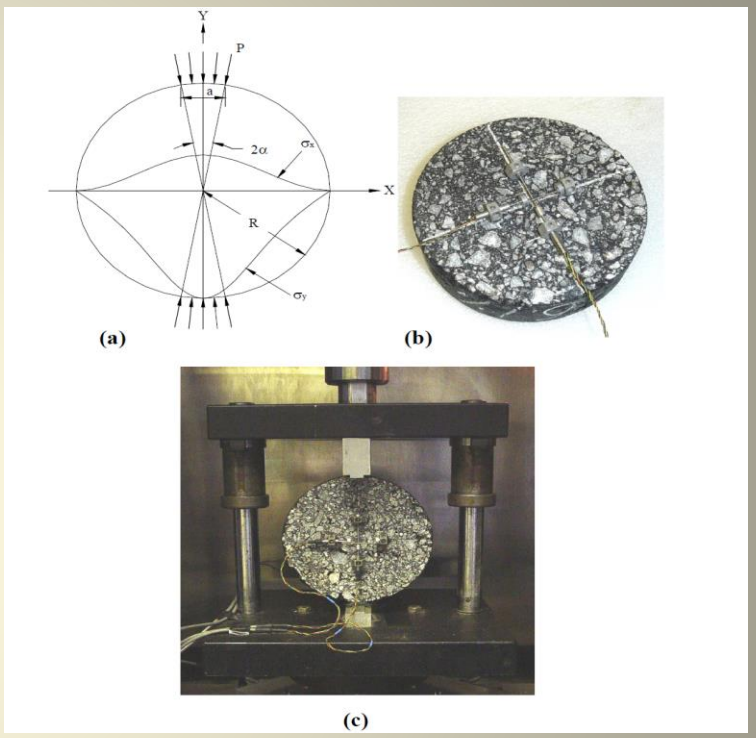
1. Выполняются работы 1 уровня проектирования
2. Определяется прогнозируемая транспортная нагрузка и данные по интенсивности солнечного света, осадкам, температурам воздуха применительно к объекту строительства на период определенный расчетным сроком службы покрытия
3. Выбирается уровень проектирования 2 или 3 (могут быть исключены усталостное и низкотемпературное трещинообразование в случае проектирования смеси для верхних слоев покрытий на асфальтобетонном и цементобетонном основании)
4. Определяются слои дорожной одежды, включая земляное полотно
5. Выбирается содержание битумного вяжущего в смеси (среднее – по 1 уровню проектирования (4 %), высокое – 3 % содержания воздушных пустот, низкое – 6 % содержания воздушных пустот)
6. Проведение испытаний методами на основе эксплуатационных характеристик
7. Построение модели прогнозирования эксплуатационных характеристик в специализированной программе системы Superpave
8. Сравнить прогнозируемые характеристики с нормативными
9. Откорректировать состав асфальтобетонной смеси

Испытания на уровнях 2 и 3

Определение деформации сдвига асфальтобетона (SST) по AASHTO T320. Испытание имитирует возникновения остаточной деформации после приложения многократных сдвиговых усилий на образцах диаметром 150 мм и высотой 50 мм



Испытания на уровнях 2 и 3



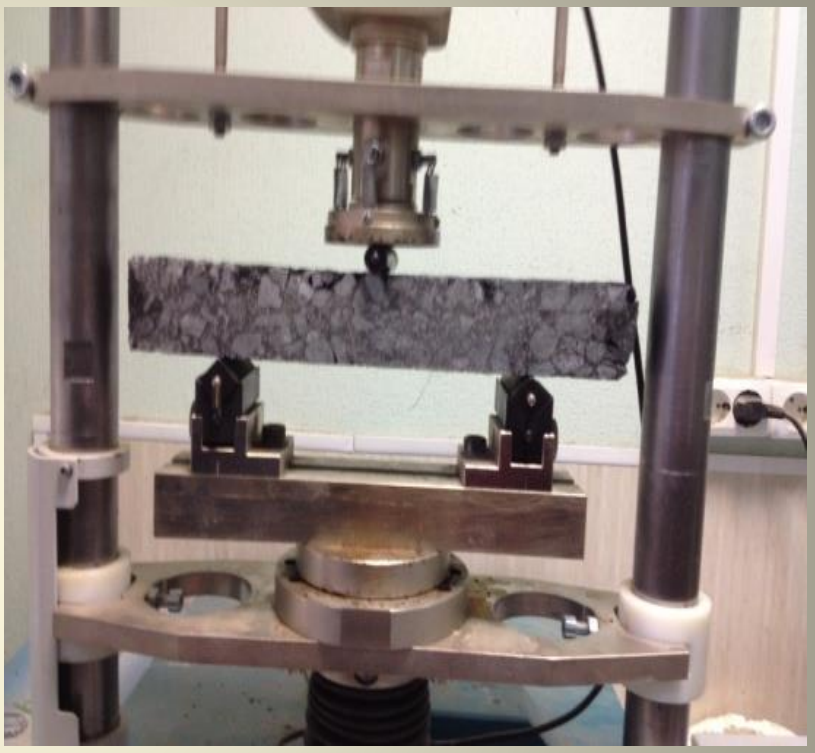
Определение прочности на растяжение и жесткости асфальтобетона (IDT) в соответствии с AASHTO T322. Испытание проводится при различных температурах на образцах высотой от 38 до 50 мм и диаметром 150 мм и имитирует низкотемпературное трещенообразование при статической нагрузке с постоянной скоростью горизонтальной деформации.

Дополнительное испытание при проектирование смесей

определение колееобразования прокатыванием колеса

Дополнительное испытание при проектирование смесей

Установка для определения низкотемпературных свойств асфальтобетона. Данная установка позволяет определять сопротивление асфальтобетона внутреннему термическому напряжению, вызванному понижением температуры в климатической камере.



Испытание на определение предела прочности на растяжение при изгибе и предельной относительной деформации при отрицательной температуре

Дополнительное испытание при проектирование смесей

Определение устойчивости асфальтобетона к воздействию противогололедных реагентов

Спасибо за внимание!