

Влияние степени уплотнения на эксплуатационные свойства асфальтобетона

Добрый день, коллеги!

Сегодня хочу поговорить с Вами о влиянии уплотнения на свойства асфальтобетона. Как влияет недоуплотнение и переуплотнение на характеристики. Когда это хорошо, а когда плохо.

На что влияет степень уплотнения вне нормы

К чему приводит высокое содержание воздушных пустот асфальтобетона:

1. Растет проницаемость, количество взаимосвязанных открытых пор;
2. Повышает скорость старения, растрескивание и выкрашивание;
3. Увеличиваются адгезионные повреждения от воды;
4. Доуплотнение под движением, рост колеи.



«Увеличение содержания пустот на 1% (после 7% пустот) приводит к снижению срока службы на 10%.»

Это работает и в обратную сторону, увеличение относительной плотности в асфальтобетоне на 1% (с 92% до 93%) улучшает усталостные характеристики покрытия, повышает сопротивление к колеобразованию и увеличивает срок службы на 10%.

<https://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/files/technical-reports/rep17-05.pdf>



К чему приводит низкое содержание пустот асфальтобетона:

1. Пластичное течение, сдвиги, наплывы;
2. Колея пластики под движением;
3. Выпотевание, пятна битума.

К чему приводит высокое содержание воздушных пустот асфальтобетона:

1. Растет проницаемость, количество взаимосвязанных открытых пор;
2. Повышается скорость старение битумного вяжущего, происходит растрескивание и выкрашивание;
3. Увеличиваются адгезионные повреждения от воды;
4. Происходит доуплотнение под движением, рост колеи.

«Увеличение содержание пустот на 1% (после 7% пустот) приводит к снижению срока службы на 10%.»

Это так же работает и в обратную сторону, увеличение относительной плотности в асфальтобетоне на 1% улучшает усталостные характеристики покрытия, повышает сопротивление к колееобразованию и увеличивает срок службы на 10%.

Высокое содержание пустот в асфальтобетоне обычно является проблемой недостаточного уплотнения.

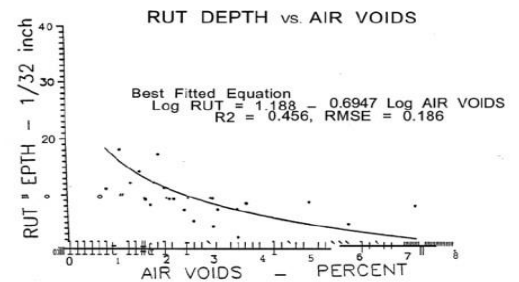
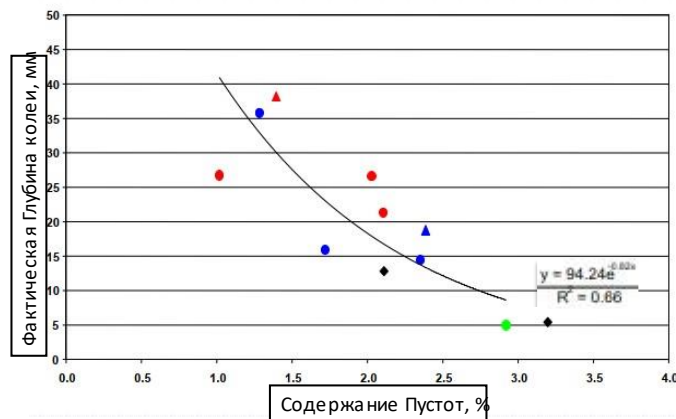
К чему приводит низкое содержание пустот асфальтобетона:

1. Пластичное течение, сдвиги, наплывы;
2. Колея пластики под движением;
3. Выпотевание, пятна битума.

Низкое содержание пустот чаще всего это проблемы с асфальтобетонной смесью. Точнее с переизбытком вяжущего. Все эти дефекты как раз характерны для избыточного содержания битума в асфальтобетонной смеси.

Высокая плотность или низкое содержание пустот. Хорошо или Плохо?

1. (-) При содержании пустот в кернах $\leq 2,5\%$ возможна нестабильность и ползучесть асфальтобетона (Foster);
2. (-) Смеси с $\leq 3\%$ пустот нестабильны склонны к колееобразованию (NCAT);
3. (+) При содержании пустот $1,6\%$ в кернах колея минимальна (WesTrack);
4. (+) Для оснований «Вечных Дорог» рекомендуется проектировать смеси с 2% пустот (Harvey and Tsai).



Давайте разберемся, высокая плотность, это хорошо или плохо.

Если, с высоким содержанием пустот фактически всё понятно – недоуплотнение приводит к снижению срока службы. В случае с низким содержанием пустот, не всё так однозначно.

Данные различных экспериментов это подтверждают, а мнения разделяются:

1. (-) При содержании пустот в кернах $\leq 2,5\%$ возможна нестабильность и ползучесть асфальтобетона (Foster);
2. (-) Смеси с $\leq 3\%$ пустот нестабильны склонны к колееобразованию (NCAT);
3. (+) При содержании пустот $1,6\%$ в кернах колея минимальна (WesTrack);
4. (+) Для оснований «Вечных Дорог» рекомендуется проектировать смеси с 2% пустот (Harvey and Tsai).

Графические результаты экспериментов также показывают низкую взаимосвязь между содержанием воздушных пустот и глубиной колеи на дороге. Можно сказать это скорее тенденция.

Это происходит, потому что к низкому содержанию пустот могут приводить две основные причины:

Есть ли предел уплотнения?

К низкому содержанию пустот могут приводить две основные причины:

1. Первая (негативная) некачественная асфальтобетонная смесь с избыточным содержанием битумного вяжущего;
2. Вторая (позитивная) – переуплотнение, интенсивная работа уплотняющей техники на технологическом этапе производства работ.

Среднее содержание воздушных пустот, %	Интенсивность движения (20 лет)	
	Низкая (ESALs ≤ 3 000 000)	Высокая (ESALs > 3 000 000)
3,0	1	1
2,9	1	2
2,8	2	2
2,7	2	2
2,6	2	3
2,5	3	3

1 – принять без снижения оплаты; 2 – рассмотреть вариант снижения оплаты и допустить к эксплуатации; 3 – рассмотреть вариант фрезеровки и новой укладки асфальтобетона

На Западе снижают стоимость оплаты работ при отклонении контролируемого параметра. Действует система PWL – «Процент в пределах», которая допускает 100% оплату при отклонении 10% проб сверх нормы. Нижний предел уплотнения редко встречается в спецификациях, его предпочитают не ограничивать. В некоторых спецификациях минимальным пределом является 2%. В таблице приведены обновленные рекомендации для инженеров принимающих решения по качеству выполненных работ.

<https://engineering.purdue.edu/NCSC/research/PDF%20files/Risk%20Management%20of%20Low-AV-AC-Mixtures.pdf>

1. Первая (негативная) некачественная асфальтобетонная смесь с избыточным содержанием битумного вяжущего;
2. Вторая (позитивная) – переуплотнение, интенсивная работа уплотняющей техники на технологическом этапе работ.

За рубежом любят снижать стоимость оплаты работ при отклонении контролируемого параметра, содержание воздушных пустот не является исключением. Действует так называемая система PWL – «Процент в пределах», которая допускает 100% оплату при отклонении 10% проб сверх нормы. Снижение оплаты может происходить вплоть до 50% при соответствующем отклонении.

Нижний предел редко встречается в спецификациях, его предпочитают не ограничивать. В некоторых спецификациях минимальным пределом является 2% при котором работы не оплачиваются и требуется переложить слой асфальтобетона. В таблице приведены относительно обновленные рекомендации, что делать инженеру по качеству.

Новые рекомендации фактически ужесточают требование к нижней границе уплотнения, но допускают к принятию слою асфальтобетона при содержании пустот 2,5%.

Наши требования для Sp и SMA строгое ограничение 3%!

Насколько критично и как повлияет на эксплуатационные характеристики и долговечность, если асфальтобетон уплотнить ниже 3%.

Особенно для SMA . Где применяются прочные каменные материалы, что фактически исключает дробление при уплотнение, а содержание пустот ограничено очень узким интервалом от 3 до 6%.

Мы провели эксперимент по определению свойств SMA-16 на вяжущем PG 76-28 с различной степенью уплотнения.

Характеристики SMA-16 с различным уровнем уплотнения

№	Кол-во оборотов гиратора	Объемная плотность, г/см ³	Содержание воздушных пустот, %	Колееустойчивость, испытания в воде при 55°C, колесо металл		Трещиностойкость, при минус 18°C, ИТР	Усталостная долговечность при непр. растяж. условное время жизни, годы	Модуль жесткости, при прямом растяжении при 20°C	Морозостойкость, 5 циклов
				Глубина, мм	Угол на клон				
1	25	2,546	6,4	5,9	0,19	2421	5,6	2560	0,93
2	100	2,633	3,3	3,4	0,12	1674	31,0	3535	0,99
3	300	2,669	2,0	2,6	0,08	1556	30,4	4000	1,00

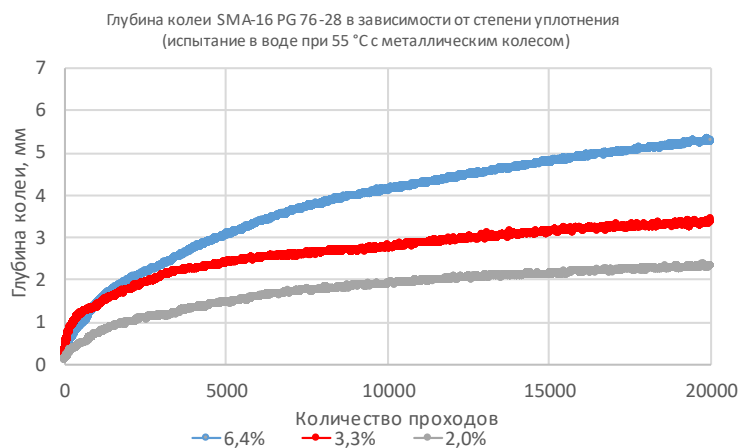
В нашем случае, граница нижнего предела строго ограничена и не предусматривает отклонений ниже нормы. Для верхних слоев это 3% пустот.

Что если асфальтобетонная смесь запроектирована, протестирована, выпущена на АБЗ правильно и содержание вяжущего в норме, а содержание пустот в кернах после уплотнения и укладки получилось ниже 3%. Насколько это критично, как это повлияет на эксплуатационные характеристики и долговечность?

Особенно это актуально для SMA. Там применяются прочные каменные материалы, что фактически исключает дробление при уплотнение, а содержание пустот ограничено очень узким интервалом от 3 до 6%.

Мы провели эксперимент по определению свойств SMA-16 на вяжущем PG 76-28 с различной степенью уплотнения. Смесь была взята с производства, на гираторе изготавливались образцы до 25; 100 и 300 оборотов.

Глубина колеи в воде при 55°C



Наилучший результат по колееустойчивости показывают образцы с наименьшим содержанием пустот. Испытание проводилось в воде с металлическим колесом и на образцах отсутствуют признаки адгезионных разрушений.

Высокая плотность, обеспеченная качеством уплотнения, дает положительный эффект по колееустойчивости.

Содержание воздушных пустот, %	Колеестойчивость, испытание в воде при 55°C, колесо металл	
	Глубина, мм	Угол на клоне
6,4	5,9	0,19
3,3	3,4	0,12
2,0	2,6	0,08

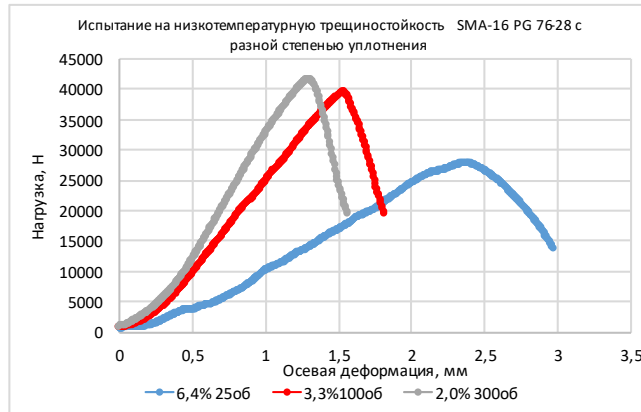
На слайде видно, что наилучший результат по колееустойчивости показывают образцы с наименьшим содержанием пустот. При этом разница с недоуплотнением составляет более чем в 2 раза.

Угол наклона, также меняется в зависимости от уплотнения.

Более плотные образцы показывают лучший результат. Испытание проводилось в воде с металлическим колесом, а на образцах отсутствуют признаки адгезионных разрушений, дополнительно можно сделать вывод о хорошей водостойкости.

Низкотемпературная трещиностойкость

Низкотемпературную трещиностойкость определяют при температуре минус 18 градусов. Стандартно, испытание проводится на том же оборудовании и при тех же требованиях к содержанию воздушных пустот (6% для SMA и 7% для Sp), как и при определении водостойкости по ГОСТ Р 58401.18. По результатам определяется «Индекс Трещиностойкости – ИТР», чем выше значение, тем лучше деформационная способность и трещиностойкость.



Содержание воздушных пустот, %	Трещиностойкость, при минус 18°C, ИТР
6,4	2421
3,3	1674
2,0	1556

Трещиностойкость образцов уплотненных до нормы и сверх нормы близка по своим значениям.

Низкотемпературную трещиностойкость определяют при температуре минус 18 градусов.

Стандартно, испытание проводится на том же оборудовании и при тех же требованиях к содержанию воздушных пустот (6% для ЩМА и 7% для Sp), как и при определении водостойкости по ГОСТ Р 58401.18.

По результатам определяется Индекс трещиностойкости ИТР, чем выше значение, тем лучше деформационная способность и трещиностойкость.

На слайде показаны характерные кривые, получаемые при испытании на низкотемпературную трещиностойкость. Между 6,4% и 3,3% есть существенная разница, когда между 2% и 3,3% эта разница минимальна.

Трещиностойкость образцов, уплотненных до нормы и сверх нормы близка по своим значениям. Фактически отличие индекса трещиностойкости составляет всего 7,5%.

Усталость при непрямом растяжении



Содержание воздушных пустот, %	Усталостная долговечность при непр. растяж. 20°C, условное «время жизни», годы
6,4	5,6
3,3	31,0
2,0	30,4

Линии усталости располагаются фактически параллельно. НО прогнозирование «Времени Жизни» показывает, что асфальтобетон с 3,3% пустот имеет наилучший результат, SMA с 2,0% пустот очень схожие значения, недоуплотненный SMA дает самое наименьшее прогнозируемое «время жизни».

Низкое содержание воздушных пустот (переуплотнение) не снижает усталостную долговечность SMA.

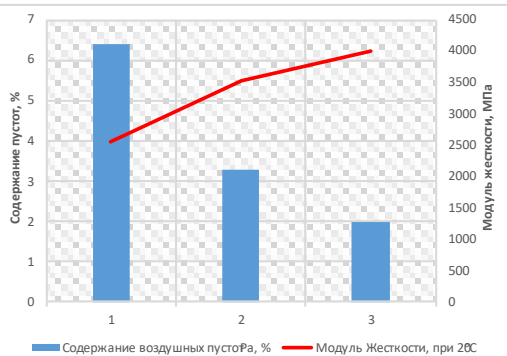
На слайде представлены результаты испытаний на усталость при непрямом растяжении при 20 градусах в логарифмических координатах. Методика испытания разработана в нашей организации и существенно позволяет снизить время испытание асфальтобетона на усталость.

Из результатов видно, что линии усталости располагаются фактически параллельно. Лучше всего себя ведет SMA с максимальной плотностью.

Если провести прогнозирование на более дальний период, то асфальтобетон с 3,3% пустот покажет наилучший результат, в тоже время SMA с 2,0% пустот показывает очень схожий результат, а вот отличие от недоуплотненного ЩМА дает самое наименьшее прогнозируемое «время жизни».

Низкое содержание воздушных пустот (переуплотнение) не снижает усталостную долговечность SMA.

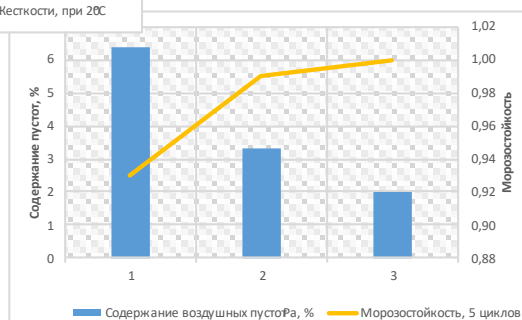
Модуль Жесткости и Морозостойкость



Содержание воздушных пустот, %	Модуль жесткости, при непрямом растяжении при 20°C	Морозостойкость, 5 циклов
6,4	2560	0,93
3,3	3535	0,99
2,0	4000	1,00

Модуль жесткости при непрямом растяжении возрастает с увеличением плотности SMA. При снижении пустот на 1% модуль увеличивается примерно на 12% или 300Мпа. Т.е. у нас существенно возрастает прочность конструкции, только за счет уплотнения.

Чем меньше пустот, тем выше морозостойкость.



Модуль жесткости при непрямом растяжении возрастает с увеличением плотности.

При снижении пустот на 1% модуль увеличивается примерно на 12% или 300Мпа. Т.е. у нас существенно возрастает прочность конструкции, только за счет уплотнения.

Аналогичная ситуация с морозостойкостью, чем меньше пустот, тем лучше, выше морозостойкость.

ВЫВОДЫ и ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Качественная асфальтобетонная смесь SMA при уплотнении выше нормы (или ниже 3% пустот) в сравнении со стандартным уплотнением, показывает:

- аналогичные результаты по усталости и низкотемпературной трещиностойкости;
- повышение модуля жесткости и морозостойкости;
- существенное улучшение при испытании на колееустойчивости морозостойкость

Мы предлагаем расширить нижнюю границу для SMA до 2,0-2,5%.

№	Страна	Требование к содержанию воздушных пустот в ядрах SMA	Примечание
1	Турция	≤ 5%	не менее 90% измерений
2	Китай	≤ 5%	≤ проектного значения
3	Германия	≤ 6%	
4	Чехия	2 – 7%	
5	Венгрия	≤ 5%	
6	Словакия	1 -7,5%	
7	Дания	≤ 5%	
8	Новая Зеландия	от 2 до 7%	+3/-2 от проектного значения
9	Италия	≤ 6%	
10	США	≤ 7 (6)%	зависит от штата, Колорадо 3-7%
11	Мексика	3 - 6%	требование совпадает с РФ

Вывод: качественная асфальтобетонная смесь SMA при уплотнении выше нормы (или ниже 3% пустот) в сравнении со стандартным уплотнением, показывает:

- аналогичные результаты по усталости и низкотемпературной трещиностойкости;
- повышение модуля жесткости и морозостойкости;
- существенное улучшение при испытании на колееустойчивость.

Мы предлагаем расширить нижнюю границу требований для SMA до 2-2,5%

Мы упускаем возможность сделать наши дороги лучше. Мы можем уже сейчас улучшить свойства наших покрытий из SMA, стабильно уплотняя ЩМА до 3% пустот и получать отличные результаты по всем эксплуатационным характеристикам, как по колее, трещиностойкости и усталостной долговечности.

В качестве еще одного аргумента, приведу сводную таблицу с требованиями к содержанию воздушных пустот в ядрах из ЩМА по разным странам. Наши требования совпадают с Мексикой, где мы и где Мексика...