

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Качество уплотнения асфальтобетона или степень уплотнения определяют через количество воздушных пустот в кернах. От степени уплотнения зависит большинство эксплуатационных свойств асфальтобетона: колееустойчивость, трещиностойкость, износостойкость и долговечность. Добиваясь необходимой плотности, нормативного количества воздушных пустот, мы задаем и обеспечиваем надежность и долговечность асфальтобетона на весь период его эксплуатации. Именно поэтому важно понимать взаимосвязь степени уплотнения и эксплуатационных свойств асфальтобетона.

Почему необходимо уплотнять асфальтобетон до требуемых значений и чем опасно, когда содержание пустот находится вне интервалов нормативной документации? Так, высокое содержание воздушных пустот асфальтобетона (вне нормы) приводит к тому, что:

1. растет проницаемость асфальтобетона, количество взаимосвязанных открытых пор (особенно это характерно для смесей с размером 22 и 32 мм);
2. увеличивается старение вяжущего, растрескивание и выкрашивание;
3. повышаются адгезионные повреждения от воды;
4. происходит доуплотнение под движением, что приводит к росту колеи.

«Увеличение содержания пустот на 1% (после 7% пустот) приводит к снижению срока службы на 10%» [1; 2].

Это также работает и в обратную сторону: по данным института NCAT, увеличение относительной

плотности в асфальтобетоне на 1% (с 92% до 93%) улучшает усталостные характеристики покрытия на 8,2–43,8%, повышает сопротивление к колееобразованию на 7,3–66,3% и увеличивает срок службы на 10% [3].

Низкое содержание пустот асфальтобетона вне нормы приводит к тому, что:

1. возникают такие дефекты, как пластичное течение, сдвиги, наплывы;
2. появляется колея пластики под движением;
3. происходит выпотевание, появляются пятна битума.

Высокое содержание пустот в асфальтобетоне обычно является проблемой недостаточного уплотнения, тогда как при низком содержании пустот чаще всего имеются проблемы с асфальтобетонной смесью (но не всегда). И если с высоким содержанием пустот получается логично (недоуплотнение приводит к снижению срока службы), то в случае с

низким содержанием пустот не все так однозначно. Данные различных экспериментов это подтверждают, и мнения специалистов разделяются [1; 2]:

1. при содержании пустот в кернах  $\leq 2,5\%$  возможна нестабильность и ползучесть асфальтобетона (Foster);
2. асфальтобетоны, где  $\leq 3\%$  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 (рис. 1 и 2) также показывают низкую взаимосвязь между содержанием воздушных пустот и фактической глубиной колеи на дороге, что, скорее, тенденция.

Это происходит потому, что 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.

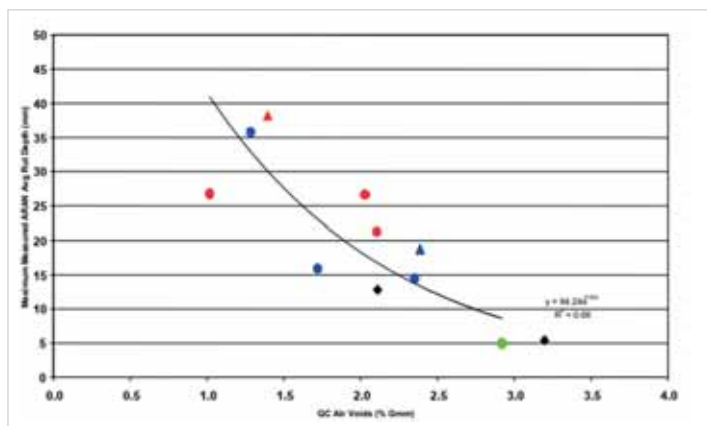


Рис. 1. Зависимость глубины колеи и содержания воздушных пустот в кернах (NCAT test track)

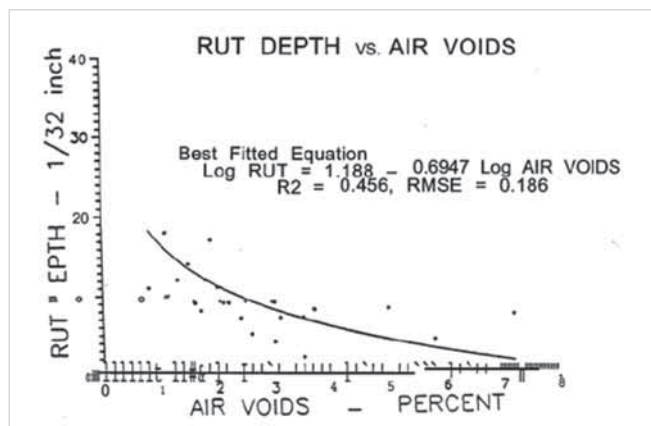


Рис. 2. Взаимосвязь содержания воздушных пустот в кернах и глубины колеи (NCHRP)

За рубежом снижают 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 до 50% при соответствующем отклонении.

Нижний предел уплотнения редко встречается в зарубежных спецификациях: его предпочитают не ограничивать [3]. В некоторых спецификациях минимальным пределом является 2%, при котором работы не оплачиваются и требуется переложить слой асфальтобетона. В табл. 1 приведены обновленные рекомендации для инженеров, принимающих решения по качеству выполненных работ.

Эти новые рекомендации фактически ужесточают требование к нижней границе уплотнения, но допускают к принятию слою асфальтобетона при содержании пустот 2,5%. В нашем случае граница нижнего предела строго ограничена и не предусматривает отклонений ниже нормы. Для верхних слоев это 3% пустот.

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

Табл. 1. Новые рекомендации действий при низком содержании воздушных пустот [3]

Среднее содержание воздушных пустот, %	Интенсивность движения (20 лет)	
	Низкая (ESALs ≤3000 000)	Высокая (ESALs >3000 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

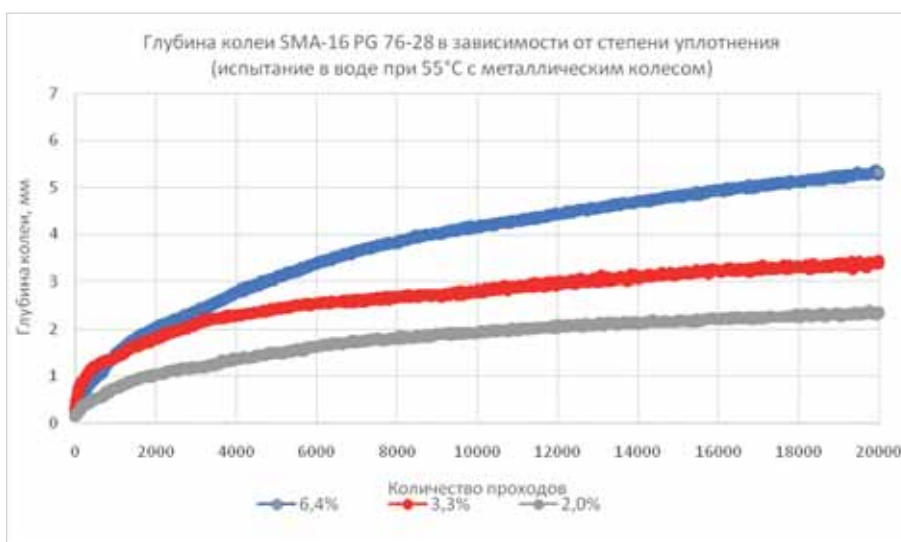


Рис. 3. Результаты испытания на колею SMA-16 на вяжущем PG 76-28 с разной степенью уплотнения

Особенно это актуально для SMA, где применяются прочные каменные материалы, что фактически исключает дробление при уплотнении, 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 гирато-

ре изготавливались образцы до 25, 100 и 300 оборотов. Были получены образцы с разной степенью уплотнения – выше, ниже и в пределах нормы. В табл. 2 приведены основные и дополнительные характеристики, ниже рассмотрены результаты, полученные в ходе поставленного эксперимента.

На рис. 3 видно, что наилучший результат по колееустойчивости показывают образцы с наимень-

Табл. 2. Характеристики SMA-16 с различным уровнем уплотнения

Кол-во оборотов гиратора	Объемная плотность, г/см <sup>3</sup>	Содержание воздушных пустот, %	Колееустойчивость, испытание в воде при 55°C, метал. колесо		Трещиностойкость, при -18°C, ИТР	Модуль жесткости, при непрямом растяжении при 20°C	Морозостойкость, 5 циклов
			Глубина, мм	Угол наклона			
25	2,546	6,4	5,9	0,19	2421	2560	0,93
100	2,633	3,3	3,4	0,12	1674	3535	0,99
300	2,669	2,0	2,6	0,08	1556	4000	1,00



Рис. 4. Образцы SMA-16 после испытания на колееустойчивость в воде, слева направо – содержание пустот 6,1%; 3,3%; 2,0%



Рис. 5. Оборудование по испытанию на низкотемпературную трещиностойкость при непрямом растяжении

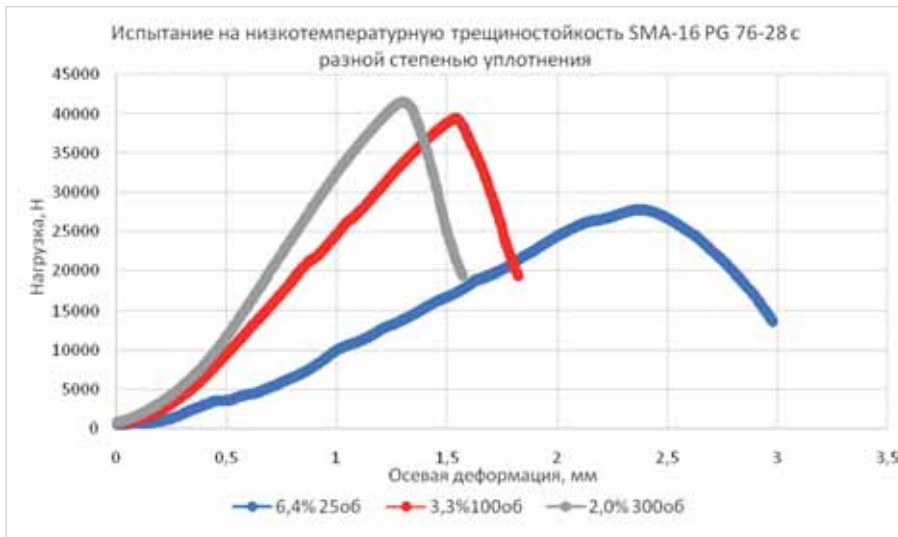


Рис. 6. Кривые испытания на низкотемпературную трещиностойкость образцов с разной степенью уплотнения

Табл. 3. Требования к содержанию воздушных пустот в кернах из ЩМА по странам

Страна	Требование	Примечание
Турция	≤5%	не менее 90% измерений
Китай	≤5%	≤ проектного значения
Германия	≤6%	
Чехия	2-7%	
Венгрия	≤5%	
Словакия	1-7,5%	
Дания	≤ 5%	
Новая Зеландия	2-7%	+3/-2 от проектного значения
Италия	≤6%	
США	≤7 (6)%	зависит от штата (Колорадо – 3-7%)
Мексика	3-6%	требование совпадает с РФ

шим содержанием пустот. При этом разница по глубине колеи – больше чем в 2 раза. Более плотные образцы показывают лучший результат, чем менее плотные. А поскольку испытание проводилось в воде с металлическим колесом, а на образцах отсутствуют признаки адгезионных разрушений (см. фото, рис. 4), дополнительно можно сделать вывод о хорошей водостойкости.

**Таким образом, высокая плотность, обеспеченная качеством уплотнения, дает положительный эффект по колееустойчивости.**

Низкотемпературную трещиностойкость в нашем эксперименте определяли при температуре  $-18^{\circ}$ . Согласно методике [4], испытание проводится на том же оборудовании (рис. 5) и при тех же требованиях к содержанию воздушных пустот (6% для ЩМА и 7% для Sp), что 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 рис. 6 показаны характерные кривые, получаемые при испытании на низкотемпературную трещиностойкость. Между 6,4% и 3,3% есть существенная разница, тогда

как между 2% и 3,3% эта разница минимальна.

**Трещиностойкость образцов, уплотненных сверх нормы и до нормы близка по своим значениям. Фактически отличие индекса трещиностойкости составляет 7,5% (табл. 2).**

Модуль жесткости при непрямом растяжении возрастает с увеличением плотности, при снижении пустот на 1% модуль увеличивает примерно на 12% или 300 МПа. То есть существенно возрастает прочность конструкции только за счет качественного уплотнения (см. табл. 2). Аналогичная ситуация с морозостойкостью: чем меньше количество пустот, тем лучше, выше морозостойкость.

По результатам проведенного эксперимента, можно сделать сле-

дующий вывод: качественная асфальтобетонная смесь SMA-16 при уплотнении выше нормы (или ниже 3% пустот), в сравнение со стандартным уплотнением, показывает:

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

**Мы предлагаем расширить нижнюю границу требований содержания пустот в кернах для SMA до 2–2,5% (до 2% для SMA-22, SMA-16 и до 2,5% для SMA-11, SMA-8).**

Мы упускаем возможность сделать наши дороги лучше. Уже сейчас мы можем улучшить свойства

наших покрытий из SMA, стабильно уплотнять до 3% пустот и получать отличные результаты по всем эксплуатационным характеристикам: как по колее, так и по трещиностойкости.

В качестве дополнительного аргумента приведем сводную таблицу с требованиями к содержанию воздушных пустот в кернах из ЩМА по разным странам (табл. 3), где в основном либо отсутствует нижняя граница, либо нормируется на уровне 2% пустот. А требования, которые сейчас действуют в РФ, совпадают с требованиями Мексики!

**Д.А. Колесник,**  
руководитель,  
**В.Е. Ефименко,**  
ведущий инженер,  
НИЦ АО «ВАД»

Ссылки на используемые материалы:

1. <https://engineering.purdue.edu/NCSC/services/2010%20Presentations/Effect%20of%20Low%20Air%20Voids.pdf>
2. <https://engineering.purdue.edu/NCSC/research/PDF%20files/Risk-Management-of-Low-AV-AC-Mixtures.pdf>
3. <https://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/files/technical-reports/rep17-05.pdf>
4. <https://zaovad.ru/upload/file/2024/05/06/kolesnik-efimenko-avtomobilnyie-dorogi-2024-5-s-112-117.pdf>



## ВЕДУЩИЙ КОМПЛЕКСНЫЙ ПОСТАВЩИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА



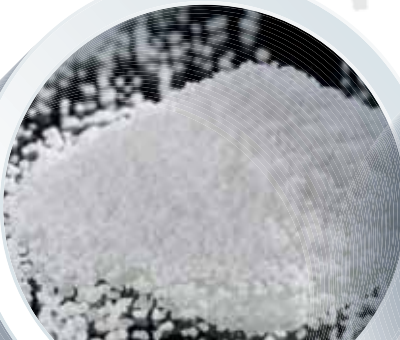
Технический сервис 24/7. Подбор рецептур различных марок ПБВ и РГ

### МАТЕРИАЛЫ

- СБС ПОЛИМЕРЫ
- ПЛАСТИФИКАТОРЫ
- АДГЕЗИОННЫЕ ДОБАВКИ И ЭМУЛЬГАТОРЫ
- СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ
- ПОЛИФОСФОРНАЯ КИСЛОТА
- СЕРА
- МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ
- МОДИФИКАТОРЫ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

### СКЛАДЫ

- МОСКВА
- ВЛАДИВОСТОК
- САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
- КАЗАНЬ
- НОВОСИБИРСК
- САЛАВАТ
- ЕКАТЕРИНБУРГ
- ТЮМЕНЬ
- ТОЛЬЯТТИ
- КРАСНОДАР



108820, Москва, 21-й км Киевского шоссе, владение 3, стр. 2, БЦ «G-10», 6 этаж  
Контактные телефоны: 8-800-777-53-25, + 7-968-643-85-37, + 7-968-894-28-32