



В бетонном покрытии под нагрузками остаточные деформации не возникают, если не было ошибок при проектировании.

Арво Тинни
Фото: Райво Тийкмаа

Бетонные дороги: познакомимся поближе

Ни серебра, ни золота в нашей земле нет, а бетонные дороги у нас можно будет скоро увидеть везде.

АРВО ТИННИ
дорожный инженер (Австралия)

В последние годы мы много говорили на тему бетонных дорог и затратили немало времени на то, чтобы переубедить местных экспертов, утверждающих, что бетонные дороги строить дорого, и они не подходят в условиях северного климата. Теперь, когда построенный под руководством специалиста Таллиннской городской упра-

вы Прийта Виллбаха первый испытательный участок бетонной дороги на Палдиском шоссе и «переживший» уже две зимы по-прежнему выглядит как новый, наступило время поближе познакомиться с тем, какие вообще существуют типы бетонных дорог.

Но сначала надо разъяснить некоторые важные понятия. В принципе существует два типа дорожного покрытия - жёсткое и эластичное. Все бетонные дороги являются жёсткими дорожными покрытиями. К числу эластичных дорожных покрытий кроме асфальта относятся и все грунтовые дороги.

Повторяющиеся динамические нагрузки вызывают в асфальтовом покрытии деформации, повреждающие асфальтовый слой. Краткосрочные деформации, вызванные нагрузкой, в асфальтобетоне восстанавливаются быстро. В части деформаций более 0,4 мм в зависимости от температуры возникают уже остаточные деформации в виде трещин и провалов.

В бетонном покрытии под нагрузками остаточные деформации не возникают, если не было ошибок при проектировании или нет каких-то нагрузок, которые не были учтены.



Двухслойное бетонное покрытие (Two Layer Concrete). Польша, 2017, строительство дороги S8

К сведению

Перед тем как перечислить различные типы бетонных покрытий, необходимо акцентировать внимание на одном из свойств бетонной смеси. Затвердевание бетона является экзотермическим процессом, в ходе которого выделяется тепло, в результате чего бетонное тело расширяется и, позднее остывая, сжимается. В результате этого в конструкции бетонного покрытия появляются трещины.

■ При смешивании и укладке бетона гидратация цемента вызывает в бетоне значительное повышение температуры. По оценкам она составляет 7°C/50 кг цемента. Таким образом, в смеси, которая содержит 340 кг цемента на м³ (например, 35 МПа), температура при затвердевании повышается примерно на 50°.

■ При сооружении бетонного покрытия строительной длиной выбирается максимально 140 метров при коэффициенте трения 1,5.

■ Коэффициент термического расширения наполнителя из плитняка составляет 9,8x10⁻⁶/°C. Окончательное суммарное расширение на участке дороги 140 метров составляет 70°Cx9,8x10⁻⁶x140 м = 96 мм, таким образом, среднее расширение составляет 48 мм и среднее сокращение при охлаждении на 50 градусов составляет 34 мм.

■ Максимальное сжатие на метр составляет $m' = 34/140 = 0,24$ мм. Таким образом, для 4-метровой плиты оно составляет $0,24x4 = 0,96$ мм. Это близко к 1,0 мм, при котором в компенсационных швах сохраняется блокировка наполнителя, что обеспечивает передачу нагрузки.

■ Вызванные сокращением объёма деформации возникают в ходе процесса затвердевания, затем они пропадают в компенсационных швах. Вызванные изменениями температуры напряжения принимает собственная прочность на растяжение бетона или добавленная арматура и сокращения, которые происходят во время укладки бетона и после нее, суммируются в качестве максимальной деформации. Дальнейшие изменения температуры не влияют на поведение бетонного покрытия. Вызванные изменениями атмосферной температуры внутренние напряжения принимает на себя затвердевший бетон.

■ Если деформация у шва более 1 мм, то компенсационный шов должен быть армирован или швы необходимо нарезать чаще. В общем случае используется периодическая арматура до 12 мм, длиной до 1 метра и прочностью на растяжение не менее 500МПа.



Армированное бетонное покрытие с компенсационными швами (Jointed Reinforced Concrete Pavement) - отрезок Палдиского шоссе в Бийсмяэ, Таллинн, 2016
Фото Мартин Аарен

Типы бетонного покрытия

Ни одно бетонное покрытие не является от начала до конца монолитным, так как с момента начала укладки бетона он начинает нагреваться и расширяться, а после этого он остывает и сжимается. Если не предприняты специальные меры предосторожности, то может произойти непредвиденное растрескивание бетона.

Такого неуправляемого растрескивания можно избежать нарезкой поперечных швов, чтобы направить трещины в них. Швы прорезаются на глубину до ¼ толщины плиты. Подобная обработка подходит для всех типов бетонных покрытий без постоянного армирования, за исключением непрерывно армированных бесшовных бетонных покрытий.

Наиболее распространены четыре типа бетонных покрытий, которые различаются в зависимости от предъявляемых к покрытию требований и общей толщины. Каждый из четырёх типов имеет и различные вариации, вызванные предъявляемыми к покрытию требованиями.

1 Неармированное бетонное покрытие с компенсационными швами (Jointed Plain Concrete Pavement)

Самым дешёвым и распространённым типом бетонного покрытия является неармированное бетонное покрытие, являющееся либо литым бетоном, либо стабилизированным цементом каменным материалом, который состоит из неармированного бетона. В зависимости от нагрузки (тяжёлые грузовики, самолёты, большое движение на автомобильных дорогах) созданные компенсационные швы могут опираться либо на блокировку щебня, либо быть связанными между собой подходящими связующими стержнями.

- Прочность бетона составляет 32–35 МПа.
- Расстояние между швами, т.е. длина плиты от 4 до 4,5 м.
- Перенос нагрузки посредством блокировки щебня. При необходимости используются связующие стержни, которые удерживают трещину. Используются связующие стержни длиной до 1 м и диаметром 12 мм из профилированной стали. Дюбели не используются, так как с их помощью невозможно обеспечить швы равномерной ширины.
- Средняя толщина плиты 250–280 мм.
- Толстые железобетонные плиты нуждаются в отдельном скреплении в случае холодного поднятия основания или высокого уровня грунтовых вод.
- Необходим один якорь в обоих концах непрерывно отлитой плиты.

2 Армированное бетонное покрытие с компенсационными швами (Jointed Reinforced Concrete Pavement)

Толщина этого покрытия точно такая же, как и у неармированного бетонного покрытия с компенсационными швами, но панель содержит слабо армированную сварную стальную сетку (200x200x8 мм проволока). Сетка может быть или в размерах панелей, или же тянуться через швы.

- Толщина бетона 32–35 МПа.
- Средняя толщина плиты 230–250 мм.
- Длину плиты можно увеличить до 10 метров или же, если проведённые тесты позволяют, то и больше. Длинные плиты изгибаются из-за различий в температурах на верхней и нижней поверхности плиты и могут под большой нагрузкой разломиться посередине.
- Этот тип используется в большинстве случаев для плит, отлитых вручную.
- Необходимы 3 анкера в конце отливаемой плиты.

3 Бетонное покрытие с непрерывным армированием (Continuously Reinforced Concrete Pavement)

Это самый дорогой тип покрытия, в

своём роде Rolls Royce бетонных дорог. Бетон непрерывный и армированный в продольном направлении. За свой 40-летний срок службы он нуждается в минимальном обслуживании. Остаточная стоимость этого бетонного покрытия самая большая – 50% или больше.

В мире нет единого мнения, каким должен быть процент армирования. Он составляет в США 0,65%, Австралии 0,67%, Бельгии 0,8%.

- Прочность бетона 32–35 МПа.
- Средняя толщина 230 мм.
- Плиты не образуют. Непрерывная длина.
- Не делаются швы.
- Естественные поперечные трещины допускаются. Идеальное расстояние между трещинами 0,5–3,0 м.
- Продольное армирование. Профильные стержни диаметром 16 мм, постоянные по всей длине литья. Предпочтение надо отдавать стержням 16 мм, а не 24 мм, так как у первых лучшая прочность схватывания на единицу площади.
- Необходимы 3 анкера в конце отливаемой плиты.

Сокращение бетонного покрытия с непрерывным армированием

- Кумулятивная ширина трещин у плиты в 140 метров такая же, как в указанной выше фоновой информации, т.е. 96 мм.
- Допустимая ширина трещины у бетонного покрытия с непрерывным армированием 0,5 мм. Таким образом, на 140 метров должно быть 192 трещины ($96/0,5 = 192$).
- Это значит, что теоретически после каждых 0,7 м должна быть трещина шириной 0,5 мм (допустимое расстояние от 0,5 до 3 м).
- Если прочность бетона повышать, например, до 50 МПа, то рост температуры от гидратации будет примерно 63°C. Если атмосферная температура во время литья бетона 20°C, то максимальная температура внутри плиты будет составлять 83°C.
- В результате этого максимальное расширение будет $83^\circ\text{C} \times 9,8 \times 10^{-6} = 110$ мм. Это будет $110/140 = 0,78$ мм/м. В связи с этим сжатие не будет пробле-

мой. Реальное расстояние между трещинами мы можем рассчитать.

4 Бетон со стальными волокнами (Steel Fibre Reinforced Concrete)

В бетон добавляются стальные волокна длиной 40–50 мм. Армированный стальными волокнами бетон используется в основном на перекрёстках с круговым движением, а в некоторых странах используется и в верхнем износостойком слое толщиной 50 мм.

- Прочность бетона 40–45 МПа.
- Средняя толщина плиты 190–230 мм.
- Смесь содержит 70 кг волокон на м³.
- Идеально подходит для производства плит специальной формы, например, на перекрестках с круговым движением.
- Максимальная длина плиты 6 м.
- Этот тип покрытия самый дорогой.
- Бетон с волокнами может оставить впечатление грязного, так как стальные волокна на поверхности ржавеют.

Другие менее используемые типы бетонных покрытий

5 Предварительно напряжённые бетонные покрытия (Prestressed Concrete Pavements)

Насколько я знаю, такого типа бетонное покрытие обычно в дорожном строительстве не используется. Академики и некоторые консультанты этой мыслью всё же «играли». В Соединённых Штатах Америки при замене повреждённых дорожных плит предварительно напряжённые элементы используются.

- Не практично использовать стандартные панели, так как при дорожном ремонте необходимые размеры всегда отличаются как по длине, ширине, так и толщине.
- Невозможно отрезать в соответствии с потребностями необходимый размер на месте.
- Заменяющие плиты надо соединить с уже существующими плитами. Предварительно напряжённые панели для этого не подходят. Отлитые на месте плиты значительно лучше подходят для ремонтных работ.

6 Двухслойное бетонное покрытие (Two Layer Concrete)

Для этого типа покрытия при создании нижнего бетонного слоя толщиной 200 мм используется щебень более низкого качества или менее износостойкий щебень (например, известняк), на который укладывается слой смеси толщиной 50 мм с более

износостойким и качественным щебнем. Этот метод называется также технологией «мокрое на мокрое».

- Становится всё более популярным.
- Этот метод является идеальным решением при использовании в нижнем слое щебня более низкого качества.
- Нуждается в специальной технологии и укладываемых машинах.
- Используется только механизированный способ укладки.



7 Whitetopping, т.е. белое покрытие

Термин используется, прежде всего, в Соединённых Штатах Америки и обозначает покрытие бетонного или асфальтового покрытия бетонным слоем. Многие консультанты из США утверждают, что этот верхний слой может быть толщиной всего 50 мм. При таких тонких слоях шаг необходимых швов должен составлять 1мх1м. Слои толщиной 150 мм и более практичны. Этот метод в Австралии мы использовали только на некоторых старых асфальтовых дорогах. Комментарии были позитивными.

Вне зависимости от степени гладкости существующего дорожного покрытия, в данном случае в качестве промежуточного слоя здесь необходим тонкий асфальтовый слой, чтобы для установки нового структурного бетонного слоя была бы обеспечена однородная, гладкая и точная основа.

Естественно, что этот метод значительно дешевле, чем замена существующего изношенного покрытия.

Не подходит в районах городской застройки, где высоты дорог связаны между собой.

8 Уплотнённый роликами бетон (Roller Compacted Concrete)

Бетон из стабилизированно грунта (или уплотнённый роликами бетон/укатанный дорожными катками бетон) - это весьма свободный термин, так как он имеет три различных способа использования. В различных ситуациях используется разная смесь и различная методика производства. При дорожных работах используется в основном третий вариант.

Используется:

- 1 В качестве альтернативного глине материала при строительстве дамб и других водостойких сооружений. Это глубокая стабилизация, и, например, в Финляндии в качестве связующего вещества используется известь.
- Небольшое содержание связующего вещества, в связи с этим и низкая прочность.



Стоимость бетонных дорог в Польше

Асфальтовая дорога на треть дороже

Стоимость строительства и обслуживания в течение 30-ти лет участка расчётной 10-ти километровой скоростной дороги:

	Бетонная дорога, 30 лет в эксплуатации	Асфальтовая дорога, 30 лет в эксплуатации
Стоимость строительства, в миллионах злотых	16,562	21,607
Стоимость обслуживания, в миллионах злотых	4,229	6,025
Расходы всего	20,791	27,632
%	100%	132,9%

Расходы на асфальтовую дорогу за 30 лет эксплуатации образуют 133% расходов на аналогичную бетонную дорогу
Источник: Варшавский институт дорог и мостов

Справка

Возможная экономия при обслуживании

Департамент шоссе штата Новый Южный Уэльс, Австралия несколько лет назад начал подробное изучение расходов на обслуживание дорог, в рамках которого рассматриваются участки по 100 километров предусмотренных для тяжёлых грузовиков асфальтовых и бетонных дорог между Сиднейем и Мельбурном. На данный момент можно ознакомиться с данными за первые 30 лет. Результаты исследования показывают:

- расходы на обслуживание бетонного покрытия хорошего качества составляют €3/м²
- расходы на обслуживание бетонного покрытия среднего качества составляют €20/м²
- расходы на обслуживание асфальтового покрытия находятся в промежутке от €37 до €50/м²

- Обычно <10 МПа.
- Можно использовать различные наполняющие материалы и фракционную составляющую.
- 2 В качестве несущего покрывающего слоя.
 - Высокое содержание связующего вещества и высокая прочность на сжатие.
 - Обычно >30 МПа.
 - Фракционный состав определён допустимыми границами.
 - Проектирование точного состава необходимо.
 - Образует несущий слой.
- 3 В качестве нижнего слоя бетонного покрытия.
 - Это надо называть «стабилизацией».
 - Через 5 дней прочность 5 МПа.
 - Через 28 дней прочность не больше чем 15 МПа.
 - Это не структурный слой.
 - Максимальный размер щебня составляет до 40 мм.
 - 180–200 кг цемента на м³.
 - Необходимы и продольные и поперечные швы.

2015: строительство дороги в Латвии с использованием уплотнённого роликами бетона (Roller Compacted Concrete). Cemex

Сравнение модулей эластичности

Сюда добавлена информация, которая иллюстрирует «прочности» различных дорожных материалов

Уплотненное щебневое основание	500 МПа
Щебневое основание с 2% модифицированного цемента	2000 МПа
Щебневое основание, стабилизированное 5% цемента	5000 МПа
Плотный асфальтобетон	среднее 3500 МПа
Бетон с малым содержанием связующего вещества 5 МПа	10 000 МПа
Бетон 35 МПа	30 000 МПа

Плотность на сжатие асфальтобетона (модуль эластичности) в большей части находится в зависимости от температуры – при высоких температурах он становится очень маленьким, в то же время модуль эластичности бетонного покрытия от изменений температуры не зависит

- При расчёте расстояния между швами надо учитывать 0,3 мм ширины трещины.
- Если не учитывается запас нагрузки на кромке, то толщину нижнего слоя надо увеличить на 40–60 мм.
- Необходим свободный от сцепления слой, чтобы поверхность была гладкая и с точными маячками высоты.
- Грузовики со смесителями не практичны, так как для опустошения необходимо много времени.

- Не используется арматура.
- Слой толщиной в 250 мм является максимальным, который можно в достаточной мере уплотнить.
- Двухслойная система не разрешена.
- Нельзя разравнивать и отделывать.
- Уплотнённый роликами бетон толщиной 200 мм равен бетону с малым содержанием связующего вещества толщиной 150 мм.

Санглийского языка перевела Мерле Эжасалу
Сэстонского языка перевёл Игорь Щирай

MASCUS

MasCUS является крупнейшим порталом продаж грузового транспорта и специализированной техники в мире!

Размещайте свою старую технику на продажу и выбирайте новую и лучше!
А также аренда спецтехники!

mascus.ee

Свяжитесь с нашим менеджером по продажам

Кристи Вальтер

+372 53 03 91 04
kristi@mascus.ee