

ЦЕМЕНТОБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ И ИХ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ

*Канд. техн. наук, доц. БАБАСКИН Ю. Г.,
докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ И. И.*

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь имеет развитую сеть автомобильных дорог. По состоянию на 1 января 2010 г., протяженность дорог общего пользования составляет 85668 км, из них 15476 км – республиканских, 70192 км – местных дорог. С твердым покрытием протяженность дорог составляет 74266 км, из них с цементобетонным – 1290 км (1,5 %), с асфальтобетонным – 44890 км (53 %). Мировая практика показывает, что удельный вес дорожных одежд с цементобетонным покрытием в развитых странах составляет: в Германии – 31 %, в США – 35, в Бельгии – 41 %. При примерно одинаковой стоимости цемента- и асфальтобетонных покрытий, цементобетонные обеспечивают более долгий срок службы (долговечности) по сравнению с нежесткими дорожными одеждами.

Под воздействием природно-климатических факторов и возросшей нагрузки на ось автомобиля в жестких покрытиях возникают различные дефекты, приводящие к разрушению дорожной конструкции. На фото 1 показаны трещины на цементобетонном покрытии автомобильной дороги. Изменение температуры и скорости деформирования существенно сказывается на прочности. Циклический характер нагрузок приводит к усталости материала, и в некоторый момент происходит хрупкое разрушение. Для разработки способов повышения трещиностойкости цементобетонных покрытий необходимо установить причину разрушения конструкции и обосновать мероприятия по улучшению состояния дорожной одежды и воздействию на материал в зоне возникновения дефекта. В связи с этим разработан алгоритм выбора метода ремонта жестких конструкций, который включает в себя семь структурных систем, объединенных в замкнутый цикл, и который характеризуют основные этапы изменения неоднородного материала – цементобето-

на с позиции континуумизации. Исходная дорожная конструкция в процессе эксплуатации изменяет свое качественное состояние: от бездефектной до разрушенной. Состояние разрушения определяют причины, ведущие к возникновению различных видов дефектов и характеризующиеся количественными и качественными показателями. На основании этих показателей выбирают вид ремонта, после выполнения которого конечная система – разрушенная конструкция – переходит в исходную, и весь цикл повторяется на новом качественном уровне.



Фото 1. Трещины на дорожном цементобетонном покрытии

Алгоритм включает в себя не только системы, но и их составные факторы, которые характеризуются уровнями. Таким образом, составление алгоритма и анализ его компонентов позволяют обосновать способы повышения трещиностойкости и выполнить необходимые виды работ по ремонту дорожной конструкции.

Материалы, изложенные в статье, представляют собой результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных по разработке способов ремонта цементобетонных покрытий автомобильных дорог.

Разрушение дорожной цементобетонной плиты. С позиции континуумизации цемента-

бетон можно рассмотреть с учетом следующих уровней: макроскопического (в виде цементобетонной плиты), миниуровня (в виде материального цикла – 1–2 см), микроуровня (в виде материального элемента – 1–2 мм) [1].

Разрушение цементобетона связано с разрывом связей:

- адгезионных – в зоне контакта крупного и мелкого заполнителя с цементным камнем;
- структурных – внутри цементного камня;
- кристаллизационных – внутри крупного или мелкого заполнителя.

Последний вид связей – наиболее прочный по сравнению с остальными. Разрыв связей является следствием механизма разрушения структуры бетона, который довольно сложен и помимо воздействия усилий, превышающих прочность структуры, включает в себя разнообразные процессы, происходящие в бетонной плите:

1) возникновение температурных деформаций между поверхностями цементобетонной плиты (в толще цементобетонной плиты);

2) возникновение температурных деформаций в контактных зонах между компонентами бетонной плиты (в зоне контакта заполнителей и цементного камня);

3) увеличение в составе бетона свободной воды за счет понижения продуктов гидролиза цемента, вызванное образованием нерастворимых гидрокристаллов, и впитывания воды развивающимися дефектами структуры.

Причем все эти процессы рассматриваются при многократно повторяющихся знакопеременных деформациях от колеса автомобиля, нагрузка от которого составляет 100 кН и более на ось автомобиля, характеризующих усталостные свойства конструкции и материала.

Каждый из объектов, обозначенных с позиции континуумизации, играет определенную роль в общей прочности цементобетона, прочность которого зависит от прочности наиболее слабых объектов, к которым относятся цементный камень (когезионные связи) и зоны контакта (адгезионные связи):

$$R_{\text{с}} = f(R_{\text{ц}}, R_{\text{ц}}^{\text{ад}}, R_{\text{п}}^{\text{ад}}). \quad (1)$$

Каждый из обозначенных объектов обладает различным количеством дефектов, в основе

которых лежит нарушение структурной связи, выраженное в возникновении трещины вначале на микроуровне, а в дальнейшем – на макроуровне, поскольку трещина является местом концентрации напряжений.

Для упрощения механизма возникновения трещины рассмотрим развитие трещины в однородном материале (далее – система). Трещина представляет собой пространственное разрушение структурных связей, поэтому выразить ее в виде точки невозможно. Точечный показатель может быть получен при рассмотрении параметров, расположенных на прямой линии системы или внутри треугольной системы. Рассмотрим плоскую систему координат в виде квадрата. В каждой вершине квадрата прочностной показатель, например предел прочности при сжатии, равен R_n . Система характеризуется условием: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ (рис. 1). На пересечении диагоналей получаем показатель R_0 , который характеризует данную систему координат, и при условии $R_n = R_0$ система характеризуется как однородная (рис. 1а).

Если возникает условие $R_n \neq R_0$, то это свидетельствует о возникновении очага разрушения. Следовательно, необходимо строить системы координат в пограничных областях и находить подобное условие. Между соседними точками с одинаковыми показателями можно провести прямую, которая будет характеризовать трещину (рис. 2б). Этот же принцип применим при рассмотрении цементобетона как искусственного материала, состоящего из отдельных компонентов: заполнителей и цементного камня (рис. 2в). Если $R_{\text{ад}} = R_{\text{ц}}$, то качество цементобетона хорошее и структура лишена дефектов.

Таким образом, образование дефекта характеризуется следующими условиями:

1. $R_{\text{ц}} = 0, R_{\text{ц}}^{\text{ад}} \neq 0, R_{\text{п}}^{\text{ад}} \neq 0;$
2. $R_{\text{ц}} \neq 0, R_{\text{ц}}^{\text{ад}} = 0 (R_{\text{ц}} = 0);$
3. $R_{\text{ц}} \neq 0, R_{\text{п}}^{\text{ад}} = 0;$
4. $R_{\text{ц}} = 0, R_{\text{ц}}^{\text{ад}} = 0, R_{\text{п}}^{\text{ад}} = 0 (R_{\text{ц}} = 0);$
5. $R_{\text{осн}} = 0$, которое повлечет за собой $R_{\text{ц}} = 0, R_{\text{ц}}^{\text{ад}} = 0, R_{\text{п}}^{\text{ад}} = 0 (R_{\text{ц}} = 0).$

На основании приведенных условий можно описать виды дефектов.

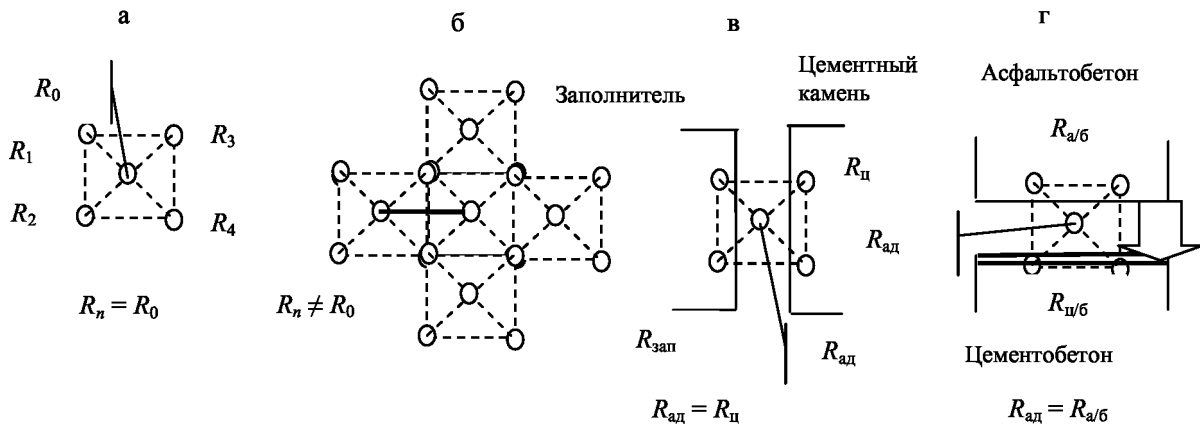


Рис. 1. Схемы обозначения систем: а – целостной; б – характеризуемой наличием трещины; в – контактной зоны в цементобетоне; г – характеризуемой контактной зоной между органическим и минеральным бетонами

Трещина (причина возникновения не рассматривается). Ослабление кристаллических связей может проходить по следующим вариантам:

а) $R_{ц} = 0$ – трещина проходит по цементному камню. Экспериментальные исследования показывают, что кварцевый песок практически не разрушается, т. е. $R_n \neq 0$;

б) $R_{ц} = 0, R_{ц}^{ад} = 0, R_{н}^{ад} = 0$ – трещина проходит в контакте с крупным и мелким заполнителем по цементному камню.

В механике разрушения приведенные варианты свидетельствуют о нарушении сплошности объекта ψ (дорожной плиты), т. е. $\psi = 0$; а также о возникновении фронта разрушения, равного в данном случае длине трещины.

Шелушение. Этот вид дефекта отражается следующими условиями:

а) $R_{ц} = 0$ – происходит полное разрушение цементобетона. При этом следует учитывать, что в отличие от того же условия возникновения трещины разрушение происходит за счет не клинообразного раскола цементного камня (природа трещины по А. Гриффитсу), а нарушения когезии и адгезии;

б) $R_{ц} = 0, R_{н}^{ад} = 0$ – шелушение сопровождается выкрашиванием мелкого заполнителя;

в) $R_{ц} = 0, R_{ц}^{ад} = 0, R_{н} = 0$ – шелушение сопровождается либо выкрашиванием щебня, либо разрушением самого щебня с последующим выкрашиванием.

Аналогичным образом могут быть представлены и другие дефекты в виде выбоины,

разрушения кромок плит, раковины, которые также будут отражать разрушение адгезионных или когезионных структурных связей. На возникновение дефекта в цементобетонном покрытии влияют: вертикальное смещение плит, которое вызывает образование неровностей в виде уступов и просадок, коробление плит, просадки, пучение, проломы. Обобщая рассмотренные показатели, дорожное цементобетонное покрытие можно характеризовать тремя состояниями, для которых прочностные показатели изменяются и имеют различное качественное и количественное состояние (рис. 2).

Качественное покрытие	Дефектное покрытие	Отремонтированное покрытие
B_{10}	B_{20}	B_{30}
$R_{max} \rightarrow R_{сп}^{ад} \rightarrow$ $\rightarrow R_{м}^{ад} \rightarrow f(R_{ц})$	$R_{max} = R_1 + R_2 + \dots +$ $+ R_n;$ $R_{ц} = 0;$ $R_{сп} = 0;$ $R_{сп}^{ад} = 0;$ $R_{м}^{ад} = 0;$ $R_{осн} < R_{осн max}$	$R_{ц} \neq 0;$ $R_{сп} \neq 0;$ $R_{сп}^{ад} \neq 0;$ $R_{м}^{ад} \neq 0;$ $R_{осн} = R_{осн max}$

Рис. 2. Характеристика состояния дорожных покрытий

Способ устранения дефектов. Задача сводится к переводу системы B_{20} в систему B_{30} , каждая из них зависит от системы B_{10} . Для устранения дефектов на цементобетонном покрытии разработаны способы устройства трещиностойких конструкций, которые заключаются

в защите цементобетонной плиты органическим материалом (например, асфальтобетоном с нанесением слоя праймера), либо устройства защитного слоя из цементобетона, отделенного от основной плиты эластичной мембраной (многослойная конструкция) (рис. 3) [2].

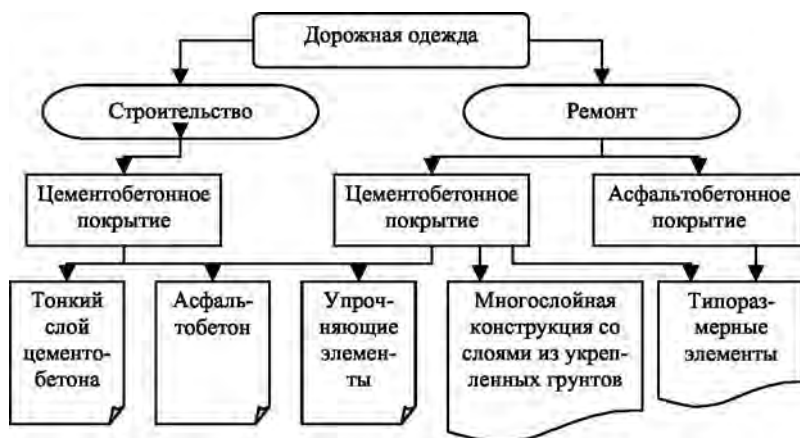


Рис. 3. Блок-схема выбора конструкции трещиностойкого покрытия

Перевод системы B_{20} в систему B_{30} возможен на основе модификации дорожного покрытия, которая может быть выполнена устройством:

1) асфальтобетонного покрытия поверх цементобетона, причем плита может оставаться в первичном состоянии (при удовлетворительном качестве плиты) либо быть деструктурирована (разрушена до искусственного щебня);

2) многослойной цементобетонной конструкции как в период строительства, так и в результате ремонтных работ.

Нормативными документами регламентированы [3–5]:

- устройство пропитки укрепляющими антикоррозионными составами – толщина защитного слоя до 20 мм (СТБ 1416 и ТУ РБ 100205847.008);
- устройство одиночной поверхностной обработки – толщина защитного слоя до 30 мм (РД 0219.1.07);
- устройство двойной поверхностной обработки – толщина защитного слоя 30–50 мм (РД 0219.1.07);
- укладка тонкослойного асфальтобетона по мембранной технологии – толщина защитного слоя 30–50 мм (РД 0219.1.23);

- укладка слоев усиления из асфальтобетона – толщина защитного слоя более 50 мм (СТБ 1033).

Для устранения колебания плиты под действием динамической нагрузки, а также для усиления основания при возникновении в нем дефекта разработаны способы, позволяющие без разрушения дорожного покрытия укреплять слои основания путем нагнетания стабилизирующего раствора.

ВЫВОД

Трещиностойкое покрытие представляет собой жесткое покрытие с устроенным дополнительным слоем, который выполняет защитные функции от температуры и коррозионных факторов. В качестве защитного слоя применяется тонкий слой цементобетона, отделенного от основной плиты слоем эластичной мембраны, или слой асфальтобетона.

Для каждого защитного слоя разработан способ устройства или ремонта, включающий в себя описание конструкции и последовательность основных работ по реализации данного способа.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Леонович, И. И.** Обоснование алгоритма выбора вида ремонта дорожных одежд / И. И. Леонович, Ю. Г. Бабаскин // *Строительная наука и техника*. – 2009. – № 4 (25). – С. 48–54.
2. **Леонович, И. И.** Совершенствование методов усиления жестких дорожных конструкций / И. И. Леонович, Ю. Г. Бабаскин // *Строительная наука и техника*. – 2006. – № 3 (6). – С. 47–52.
3. **Яромко, В. Н.** Новая технология ремонта цементобетонных покрытий / В. Н. Яромко. – Минск: НПО «Белавтодорпрогресс», 1999. – 78 с.
4. **Строительство** цементобетонных оснований и покрытий автомобильных дорог: пособие П1–98 к СНиП 3.06.03–85. – Минск: Мин-во архитектуры и строительства РБ, 1999. – 52 с.
5. **Методические** рекомендации по ремонту цементобетонных покрытий автомобильных дорог. ДМД 02191.2.005–2006. – Минск: департамент «Белавтодор», 2006. – 57 с.

Поступила 23.04.2010