

УДК 693.6

Ю. Г. Бабаскин, канд. техн. наук, доцент (БНТУ);
И. И. Леонович, д-р. техн. наук, профессор (БНТУ)

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Образование трещин в цементобетоне связано со структурными и адгезионными процессами, происходящими под воздействием температуры, воды и коррозионных факторов. Предложены направления по обработке цементобетона праймером и активными веществами, улучшающими адгезионные свойства между органическим и минеральным бетонами.

Formation of cracks in cement concrete is connected to structural and adhesive processes occurring under influence of temperature, water and corrosion factors. Directions on processing cement concrete praimerom and by active substances omproving adhesive properties between organic and mineral concrete are offered.

Введение. Для разработки программы проведения теоретических и экспериментальных исследований по повышению трещиностойкости цементобетонных покрытий разработан алгоритм выбора метода ремонта жестких конструкций. Алгоритм включает семь структурных систем, объединенных в замкнутый цикл, которые характеризуют основные этапы изменения неоднородного материала – цементобетона 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, характеризующихся 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 витке.

Алгоритм включает не только системы, но и их составные факторы, которые характеризуются уровнями. Таким образом, составление алгоритма и анализ его компонентов позволяет обосновать необходимые виды работ по ремонту дорожной конструкции.

Оценка поврежденности цементобетона. С позиции континуумизации цементобетон рассматривают на различных уровнях:

1) макроскопическом – цементобетонная плита представляет собой однородный материал, где в единице объема содержатся все компоненты бетона от крупного заполнителя до цементного камня;

2) миниуровне (материального цикла) – объект изучения ограничивается 1...2 см и характеризуется количественным составом компонентов. При таком рассмотрении объекта можно выделить основной фактор в виде неоднородности материала из-за поликристаллического строения;

3) микроуровне (материального элемента) – объект изучения достигает 1...2 мм. В этом случае рассматривают несколько отличных друг от друга объектов:

– внутренний состав щебня, как горной породы, состоящей из различных минералов, отличающихся не только химическими элементами, но и физическими свойствами;

– внутренний состав песка, зависящий от материнской породы и способа получения;

– цементный камень, на этом уровне цемент, как связующее, представлен однородным материалом;

– зона контакта между щебнем и цементным камнем;

– зона контакта между песком и цементным камнем.

Разрушение 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 является наиболее прочным 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) [1];

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, вызванные образованием нерастворимых гидрокристаллов, и впитывания воды развивающимися дефектами структуры.

Причем все эти процессы необходимо рассматривать при многократно повторяющихся знакопеременных деформациях от колеса автомобиля, нагрузка от которого составляет 100 кН и более на ось автомобиля, характери-

зующих усталостные свойства конструкции и материала.

Каждый из объектов, рассмотренных с позиции континуумизации, играет определенную роль в общей прочности цементобетона, который рассматривается на макроуровне как дорожная плита. Условие прочности цементобетона зависит от прочности наиболее слабых объектов, к которым относятся цементный камень и зоны контакта (адгезионные связи)

$$R_0 = f(R_c, R_{ш}^{ад}, R_n^{ад}). \quad (1)$$

Каждый из этих объектов обладает различным количеством дефектов, в основе которых лежит нарушение структурной связи, выраженное в возникновении трещины, вначале на микроуровне, а в дальнейшем с развитием до макроуровня. Трещина является местом концентрации напряжений [2].

Разрушение твердых материалов представляет собой сложный процесс, развивающийся в пространстве и времени. А. Гриффитс проанализировал хрупкое разрушение материала на основе явлений развития микротрещин и доказал, что трещина может развиваться лишь тогда, когда энергия разрыва связей превышает энергию образующейся поверхности. Этому положению соответствует выражение для определения прочности материала

$$R = 2 \sqrt{\frac{A E_y}{\pi C}} \quad (2)$$

где A – свободная поверхностная энергия твердого тела; E – модуль упругости; C – длина трещины.

В механике разрушения в качестве критериев разрушения приняты: сплошность, фронт разрушения, стадия распространения разрушения. Сплошность характеризует наличие структурных связей между компонентами системы, обозначим ψ .

Поврежденность объекта с учетом сплошности описывают выражением

$$1 \geq \psi \geq 0. \quad (3)$$

В начальном состоянии, при отсутствии поврежденности, $\psi = 1$ с течением времени критерий ψ убывает и достигает нуля при возникновении трещины.

Разрушение неоднородного тела, к которому относится и цементобетон, протекает в две стадии. На первой стадии скрытого разрушения (время t_1) в некоторых точках материального элемента сплошность больше нуля. На второй стадии возникает местное разрушение, при котором микротрещины сливаются, и возникает

макротрещина, которая определяет некоторый объем материального цикла. Поверхность, отделяющая контактные циклы, для которой сплошность равна нулю, представляет собой фронт разрушения, которое характеризуется уравнением

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t} = 0, \quad (4)$$

где u – координата по нормали к фронту; $\frac{\partial \psi}{\partial t}$ – скорость роста по вреждаемости; $A > 0$ – коэффициент; $n \geq 0$ – показатель трещинообразования; σ_{\max} – истинное максимальное растягивающее напряжение; $\frac{\sigma_{\max}}{\psi}$ – приведенное (эффективное) напряжение.

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -A \left(\frac{\sigma_{\max}}{\psi} \right)^n. \quad (5)$$

Проинтегрировав выражение (5) и подставив значения в выражение (4), преобразовав его, получаем уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\sigma_{\max}^n}{\frac{\partial}{\partial u} \int_0^t \sigma_{\max}^n \partial t}. \quad (6)$$

В случае однородного напряженного состояния знаменатель правой части обращается в ноль и фронт разрушения распространяется мгновенно. Для неоднородного напряженного

состояния скорости $\frac{\partial u}{\partial t}$ конечны. Распространение фронта приводит к полному разрушению объекта в некоторый момент $t = t^1$. Интервал $t_1 < t \leq t^1$ выражаем через стадию распространения разрушения.

Методическими рекомендациями по ремонту цементобетонных покрытий (ДМД 02191.2.005-2006), разработанными Белавтодором, оценка степени разрушения и состояния покрытия основывается на показателе IRI, характеризующем его ровность [4]. На первой стадии скрытого разрушения показатель IRI не сможет зафиксировать элемент разрушения. Показатель IRI даст такую информацию, когда раскрытие трещины достигнет макроразмеров, при которой начинает образовываться порог или колесо автомобиля фиксирует его попадание в плоскость трещины. Кроме того, возникновение элементов неровности может произойти при формировании структуры цементобетона в период его твердения, а в отдельных случаях даже в период укладки. Следовательно, приборами можно зафиксировать неровность,

которая отражает не разрушение цементобетона, а неровность самой плиты. Кроме того, все три типа разрушения цементобетонного покрытия (ДМД 02191.2.006-2006) предусматривают наличие трещин, разрушение кромок плит, образование уступов. Тип 1 – $IRI < 5$ мм/м, высота уступа не превышает 10 мм; тип 2 – $IRI = 5 \dots 7$ мм/м, высота уступа превышает 10 мм; тип 3 – $IRI > 7$ мм/м, высота уступа превышает 10 мм, наблюдается качание плит под нагрузкой. Это свидетельствует о том, что ремонтные работы, в настоящее время, начинаются тогда, когда покрытие уже имеет значительный дефект, а следовательно, для его устранения потребуются значительный расход материалов и денежных средств.

Показателем, учитывающим остаточный ресурс цементобетонного покрытия, является расчетный коэффициент разрушения, представляющий собой отношение суммарной протяженности (или суммарной площади) участков дороги, требующих ремонта из-за недостаточной прочности дорожной одежды, к общей протяженности (или общей площади) дороги между корреспондирующими пунктами. Фактический коэффициент разрушения покрытия по наличию трещин определяют по формуле

$$m_p = 0,5 f(z), \quad (7)$$

где $f(z)$ – функция нормального распределения (нормированная функция Лапласа), определяемая в зависимости от величины параметра (z), который рассчитывают по формуле

$$z = \frac{\gamma_{\text{факт}}}{S}, \quad (8)$$

где $\gamma_{\text{факт}}$ – удельная длина всех видов трещин на обследуемом участке дороги, м/м²; S – стандартное отклонение удельной длины трещин, м/м². $S = 0,05$ м/м².

Удельную длину трещин определяют из выражения

$$\gamma_{\text{факт}} = \frac{L_{\text{тр}}}{F}, \quad (9)$$

где $L_{\text{тр}}$ – фактическая длина всех видов трещин на рассматриваемом участке дороги; F – площадь покрытия на рассматриваемом участке дороги

Представленные выражения свидетельствуют о том, что трещины учитываются по длине и никак не по ширине раскрытия. Следовательно, данная методика разработана для оценки состояния покрытия, эксплуатирующегося в течение длительного периода. Прогнозировать и проводить предупредительные ремонтные работы на основании этой методики невозможно.

Направления по повышению трещиностойкости дорожных покрытий. Согласно разработанному алгоритму выделим следующие системы:

1) система «А» – характеризующая качественную жесткую дорожную конструкцию с цементобетонным покрытием;

2) система «Г» – характеризующая дорожную конструкцию, подверженную разрушению (отличается от системы «А» наличием дефектов, возникших в результате разнообразных факторов).

Перевод системы «Г» в систему «А» возможен на основе модификации.

Согласно разработанной программе исследований, модификация дорожного покрытия может быть выполнена по следующим направлениям:

1) устройством асфальтобетонного покрытия поверх цементобетона, причем плита может оставаться в первичном состоянии (при удовлетворительном качестве плиты) либо быть деструктурирована (разрушена до искусственного щебня) [3];

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

Нормативными документами регламентировано:

– 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).

На основании этих направлений сформулированы требования к модифицированным покрытиям.

По первому направлению основные требования касаются поверхности раздела между цементобетонным и асфальтобетоном. Учитывая, что эти материалы термодинамически несовместимы, необходимо разработать праймер, обладающий высокими когезионными и адгезионными качествами.

Для этого, во-первых, праймер должен хорошо смачивать ремонтируемую поверхность.

Во-вторых, необходимо активировать поверхность бетона, чтобы в битумоминеральной композиции все ее составляющие обладали полярными функциональными группами.

В-третьих, достичь между молекулами адгезива и субстрата химического взаимодействия.

В-четвертых, достичь близости молекулярной природы адгезива и субстрата.

По второму направлению перспективным является создание многослойной конструкции, в которой каждый слой выполняет свое назначение и работает в автономном режиме, причем каждый верхний слой должен быть защитой для ниже расположенного.

Одним из путей межповерхностного натяжения между минеральным и органическим материалами является нанесение на основание грунтовки (праймера), свойства которой должны быть близки как к одному, так и к другому субстрату. Этот слой может представлять не только самостоятельный материал, но и быть модифицированным поверхностным слоем одного из субстрата. Следовательно, праймер должен обладать свойствами хорошего контакта как с минеральным материалом (цементобетоном), так и с органическим. Кроме того, праймер сам должен представлять эластичный материал, который способен иметь такой коэффициент температурного расширения, который бы соответствовал требованиям цемента- и асфальтобетона. Причем следует учитывать, что коэффициенты температурного расширения, у обозначенных бетонов, отличаются более чем на 10%.

Поверхность цементобетона можно отнести к полярному материалу. Высокая адгезия к цементобетону будет у материалов, содержащих функциональные полярные группы, имеющие водородные связи с водой. Чем больше в адгезиве имеется полярных функциональных групп и чем выше их плотность расположения, тем сильнее адгезия к полярной поверхности.

На основании вышесказанного для исследований были выбраны вещества, содержащие в своем составе смоляные кислоты и являющиеся носителем полярной карбоксильной группы ($-COOH$). Изменение молекулярно-поверхностных свойств цементобетона можно осуществить путем обработки цементобетона поверхностно-активным веществом.

На основании вышеизложенного разработан рецептура праймера, выбрано поверхност-

но-активное вещество и предложены способы по их нанесению. По результатам исследований подана заявка на получение патента.

Заключение. 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 органического материала; слой асфальтобетона или упрочняющих элементов, уложенных на праймер.

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

Способ устройства дорожной конструкции с защитным слоем из цементобетона включает последовательное сооружение трехслойного цементобетонного покрытия с убывающей толщиной слоев от основания к поверхности. Между слоями наносится органический материал или праймер.

Способ устройства дорожной конструкции с защитным слоем из асфальтобетона заключается в нанесении на цементобетонное покрытие слоя праймера и укладке слоя асфальтобетона с последующей нарезкой деформационных швов.

Литература

1. 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.
2. Яромко, В. Н. Новая технология ремонта цементобетонных покрытий / В. Н. Яромко. – Минск: НПО «Белавтодорпрогресс», 1999. – 78 с.
3. Строительство цементобетонных оснований и покрытий автомобильных дорог: пособие ПП-98 к СНиП 3.06.03-85. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 1999. – 52 с.
4. Методические рекомендации по ремонту цементобетонных покрытий автомобильных дорог: ДМД 02191.2.005-2006. – Минск: Департамент «Белавтодор», 2006. – 57 с.

Поступила 01.04.2010