

Леопович И. И., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Бабаскин Ю. Г., кандидат технических наук, доцент, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

INCREASE OF DURABILITY ROAD CEMENT CONCRETE COVERINGS

Повышение долговечности дорожных цементобетонных покрытий представляет собой разработку способов строительства и ремонта жестких покрытий, устраняющих дефекты, которые оцениваются с помощью критериев разрушения.

Increase of durability road cement concrete coverings represents development of ways of construction and repair of the rigid coverings eliminating defects which are estimated with the help of criteria of destruction.

ВВЕДЕНИЕ

Протяженность автомобильных дорог Республики Беларусь (по состоянию на 01.01.2009 г) составляет 85 818 км, в том числе республиканских - 15 476 (18 %) и местных - 70 342 (82 %). Густота дорожной сети равна: на 1000 км² - 434 км, на 1000 жителей 8,8 км. Для сравнения можно заметить, что в России протяженность сети дорог общего пользования к 2010 году достигнет 670 тыс. км, в том числе, протяженность федеральных дорог составит 50 тыс. км, территориальных - 620 тыс. км.

Твердое покрытие имеют 100 % республиканских дорог и 83,3 % (58 573 км) местных, в том числе цементобетонное покрытие уложено на 436 км республиканских дорог и 854 км местных. Протяжение автомобильных дорог с капитальным типом покрытия в России достигнет к 2010 году 428 тыс. км. На магистральных автомобильных дорогах России преобладают нежесткие дорожные одежды с асфальтобетонными покры-

ниями (97%), и только 3% (10,3 тыс. км) протяжения дорог с усовершенствованными покрытиями имеют цементобетонные покрытия.

Мировая практика показывает, что удельный вес дорожных одежд с цементобетонными покрытиями в развитых странах составляет: в Германии 31%, в США — 35%, в Бельгии — 41%.

Цементобетонные покрытия обладают целым рядом преимуществ: существенно большая прочность цементобетона в сравнении с асфальтобетоном; стабильность деформативных свойств цементобетона при изменении температуры; рост прочности цементобетона во времени при благоприятных условиях эксплуатации; доступность оборудования для скоростного строительства бетонных покрытий с высокими показателями ровности; высокая морозостойкость бетона при применении суперпластификаторов и воздухововлекающих добавок; стабильность коэффициента сцепления покрытия с колесами автомобилей, слабая его зависимость от степени увлажнения. Кроме того, следует отметить, что при примерно одинаковой строительной стоимости цементобетонных и асфальтобетонных покрытий, цементобетонные обеспечивают значительно более долгий срок службы (долговечность) по сравнению с жесткими дорожными одеждами (в среднем в 2-3 раза и более). Следовательно, цементобетонные покрытия требуют значительно меньших затрат на ремонт, а также обеспечивают более высокий уровень транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог.

Наряду с повышением деформативности цементобетона одним из перспективных направлений стратегии развития конструкций жестких дорожных одежд является армирование монолитных цементобетонных покрытий и оснований, что позволит значительно увеличить длину бетонных плит, а, следовательно, сократить число поперечных швов и уменьшить дефектность покрытия (1).

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И КРИТЕРИИ РАЗРУШЕНИЯ

Долговечность конструкции - это способность сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, вызванного техническим ресурсом или сроком службы. Долговечность

конструкции связана с долговечностью материалов, представляющей расчетный срок эксплуатации, в течение которого материал сохраняет свои свойства и заданные характеристики в определенных условиях работы инженерного сооружения (2).

Повышение долговечности жесткого дорожного покрытия может быть обеспечено за счет герметизации стыковых соединений; выравнивания температурного режима между верхней и нижней плоскостями цементобетонной плиты, путем устройства защитных слоев; армирования цементобетона. Для повышения долговечности конструкции необходимо учитывать основных факторы, влияющие на скорость и масштаб развития дефекта: причину образования и уровень (макро, мини или микро) развития дефекта с позиции континуумизации.

Опыт эксплуатации автомобильных дорог с цементобетонным покрытием показывает, что под воздействием автомобильного движения и погоднo-климатических факторов происходит постепенное ухудшение состояния покрытия в результате образования различных видов дефектов. Причины возникновения этих дефектов можно классифицировать следующим образом:

1) возникновение температурных напряжений в цементобетонной плите, приводящие к образованию разнообразных трещин;

2) постоянно растущая осевая нагрузка от автомобильного транспорта, которая с учетом ее динамического воздействия превышает, в отдельных случаях, расчетные показатели и приводит к раскалыванию плиты. В настоящее время по дорогам республики проходят автомобили с нагрузкой на заднюю спаренную ось, достигающую до 282 кН. Например, автомобили с формулой по UE: 3P (26 т) – до 190 кН; 2С + 2N (26 т) – до 200 кН; 3С + 3N (44 т) – до 240 кН (282 кН), где С – число осей тягача, N – число осей полуприцепа (рис. 1).

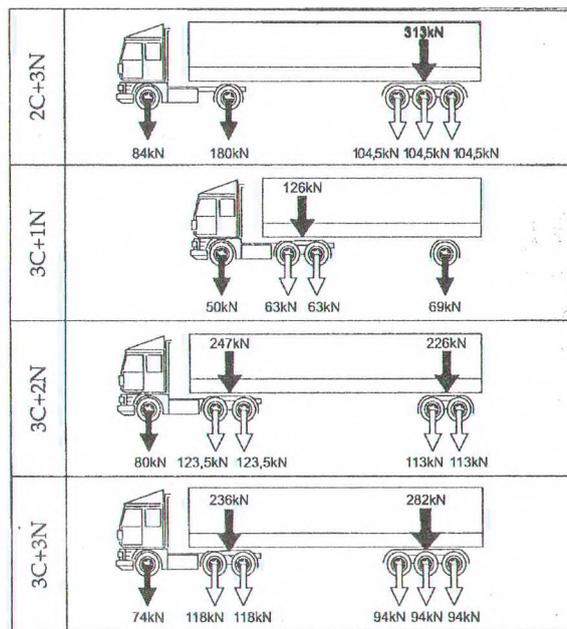


Рис. 1 Колесная нагрузка некоторых большегрузных автомобилей

3) возникновение внутренних коррозионных процессов, которые в основном являются следствием первых двух причин. В некоторых случаях, при использовании некачественного материала при приготовлении бетона, коррозия может проявляться в деструктуризации цементного камня с самого начала эксплуатации дороги. Наиболее ярко этот процесс проявляется при таком дефекте, как шелушение.

Основным видом дефекта цементобетонных покрытий автомобильных дорог является трещина. Существует синусоидальная зависимость количества трещин от срока службы покрытия, что подтверждается законом распределения деформации дорожных одежд во времени.

В качестве критериев разрушения можно выделить: сплошность, фронт разрушения и стадию распространения разрушения. Сплошность материала определяет однородность структуры с полными кристаллическими связями. Нарушение этих связей

отражается на переводе сплошной системы в дискретную. Фронт разрушения определяет некую плоскость, отделяющую объем материала, характеризуемого сплошностью, от объема в котором проявляется нарушение структурных связей. Стадия распространения разрушения – это время перевода материала, характеризуемого сплошностью в дискретную систему.

Поврежденность объекта можно выразить неравенством (1), в котором сплошность объекта (материала) (ψ) имеет интервал варьирования от единицы – для качественной системы, до нуля – для разрушенной системы. В начальном состоянии при отсутствии поврежденности $\psi = 1$, с течением времени функция ψ убывает

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

Фронт разрушения представляет собой границу между областью, например V_1 , не имеющей разрушения, т.е. характеризуемой $\psi = 1$, и областью V_2 , подверженной разрушению ($\psi = 0$). Кроме того, следует учитывать, что разрушение материала протекает во времени, причем существует время скрытого и время явного разрушения. Для фронта разрушения можно записать уравнение

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

где u – координата по нормали к фронту;

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -A \left(\frac{\sigma_{\max}}{\psi} \right)^n \text{ - скорость роста повреждаемости;}$$

$A > 0$ – коэффициент;

n – показатель трещинообразования;

σ_{\max} – максимальное растягивающее напряжение;

$\frac{\sigma_{\max}}{\psi}$ – приведенное (эффективное) напряжение.

Подставив значение скорости роста повреждаемости в выражение (2) получим уравнение движения фронта разрушения (3)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\sigma_{\max}^n}{\frac{\partial}{\partial u} \int_0^{\sigma_{\max}^n} \sigma_{\max}^n \partial t} \quad (3)$$

В некоторый момент t_1 возникает местное разрушение, а в момент t_2 полное. Интервал $t_1 < t \leq t_2$ называют стадией распространения разрушения. В это время рассеянные микротрещины сливаются, возникает макротрещина и дальнейший процесс разрушения связан с развитием магистральных трещин. Таким образом, трещина является местом концентрации напряжений, которые способствуют возникновению направленных разрывов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНА

Проведен анализ разрушений цементобетонных покрытий автомобильных дорог, по материалам департаментов, занимающихся строительством и эксплуатации дорог в Республике Беларусь, России и США.

Исследованы теплотехнические особенности бетона, как искусственного материала, состоящего из компонентов с различными теплопроводящими характеристиками. Определены теплотехнические показатели для термодинамически несовместимых материалов. Изучена динамика изменения температуры в теле плиты цементобетонного покрытия, а также в асфальтобетонном покрытии, в течение суток. Установлен перепад температур между верхней плоскостью плиты, воспринимающей солнечную радиацию и нижней, зависящей от теплопередачи компонентов цементобетона, а также температуры основания. Определены математические выражения для расчета перепада температур при их положительных и отрицательных значениях.

Для улучшения адгезионных связей между минеральными и органическими вяжущими изучены возможности органоминеральных композиций, составленных на основе веществ, повышающих полярность праймера и активирующих поверхность минеральной части. В результате исследований установлена зависимость между адгезионной способностью модификатора и вязкостью праймера, а также содержания в нем поверхностно-активных веществ. По-

лученные результаты свидетельствуют о том, что повышение адгезии органического вяжущего к минеральному бетону зависит от содержания в составе битума карбоксильных групп, вступающих в химическое взаимодействие с катионами тяжелых и щелочно-земельных металлов, которые находятся в поверхностном слое цементобетона.

Разработана методика равнопрочного отрыва битумных композиций от субстрата (цементобетона) по всей площади контакта при исследовании адгезионных свойств композиционных материалов.

Исследована проникающая способность в цементобетон химических веществ, которые могут одновременно оказывать влияние на органическую составляющую праймера-битума, путем его пластификации. Предложены пластификаторы битума, которые разжижают его, не снижая сцепления с минеральными материалами. Основой пластификаторов являются нефтяные масла с большим содержанием ароматических углеводородов.

Предложены расчетные схемы, позволяющие теоретически обосновать конструкцию усиления цементобетонного покрытия, подверженного разрушению. Для построения конечно-элементной модели (рис. 2) использованы квадратные конечные элементы с размером $0,25 \times 0,25$ м, содержащие по четыре узла и имеющие двадцать четыре степени свободы. Из номенклатуры конечных элементов, соединенных друг с другом только в узлах, выбран элемент, учитывающий воздействие основания. Для построения модели плиты использовано 392 конечных элемента. Количество узлов в численной модели равно 435. Расчетные схемы составлены для следующих вариантов:

а) дорожная цементобетонная плита, лежащая на основании из тощего бетона;

б) дорожная цементобетонная плита, лежащая на основании, усиленном опорой из полимерного вяжущего (опора расположена под плитой – при удовлетворительном основании, и под основанием – при наличии сквозной трещины);

в) дорожная цементобетонная плита, представляющая многослойную конструкцию, разделенную органическими прослойками (рис. 3);

г) асфальтобетонное покрытие, лежащее на основании из искусственного щебня (цементобетонная плита раздробленная способом виброразрушения).

Предложены схемы для расчета упругих прогибов, которые включают элементы в виде подушек из синтетических полимеров. По результатам расчета получены значения прогибов для статической, динамической (мгновенно приложенной) нагрузок, а также с учетом импульсной нагрузки. Построены карты изолиний горизонтальных и вертикальных перемещений отдельных точек плиты (рис.4).

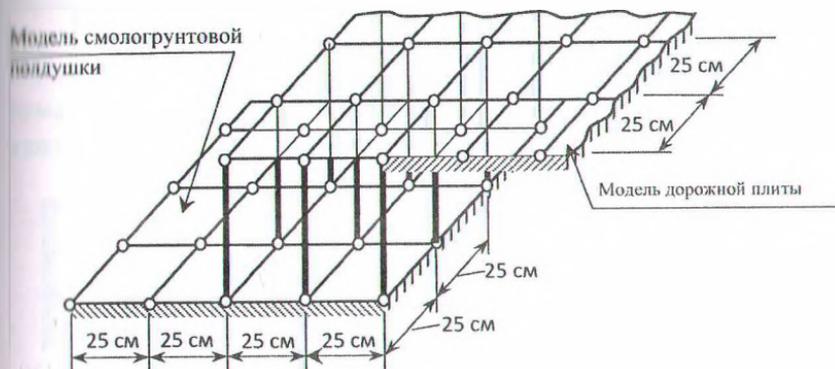


Рис.2 Схема фрагмента конечно-элементная модель

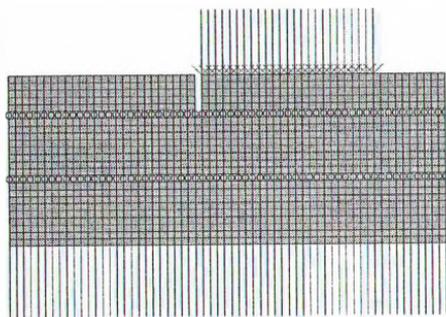


Рис. 3 Фрагмент конечно-элементной модели трехслойной дорожной плиты с битумными прослойками

Разработан алгоритм выбора метода ремонта, в зависимости от причин возникновения дефектов, и конструкции дорожной оде-

жды с улучшенными структурными свойствами. Алгоритм имеет замкнутый характер, что позволяет выполнять оценку дорожной конструкции на любой стадии ее изменения, а также планировать проведение научных исследований при расширении диапазона варьирования любого фактора, входящего в состав элемента.

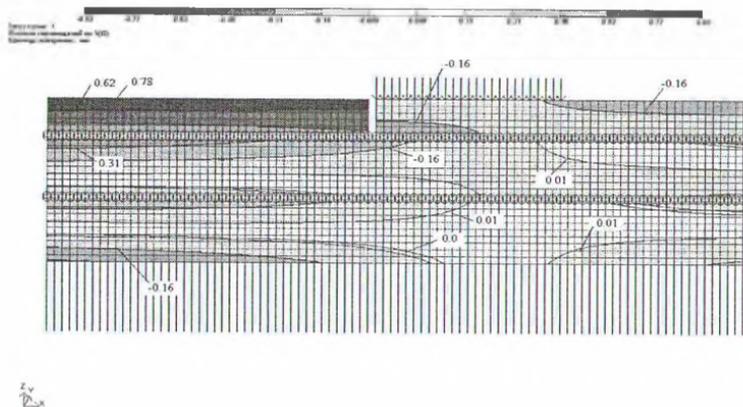


Рис. 4 Фрагмент карты изолиний горизонтальных перемещений (мм) в трехслойной плите

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать способы, направленные на повышающие долговечности цементобетонных дорожных покрытий.

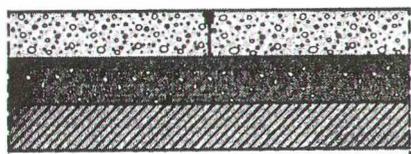
Способ усиления дорожной конструкции (3), заключается в устройстве области укрепленного грунта в основании, непосредственно под местом возникновения дефекта в виде трещины, пролома, просадки плиты или под швом. Закрепление грунта в основании осуществляется без разрушения покрытия с помощью горизонтально расположенных иньекторов (патент 7454).

Способ ремонта дорог (4) основан на пломбировании мест дефектов специальными элементами, изготовленными из дорожно-строительных материалов с использованием модификаторов и армирующих прослоек, изготовленных в индустриальных условиях. Пломба представляет собой искусственную конструкцию (однородную, многослойную, армированную),

изготовленную в соответствии с типоразмерным рядом и по прочности равной или превышающей прочность дорожного покрытия (патент 8020).

Способ поверхностной обработки дорожных покрытий (5) путем наклеивания организованных упрочняющих элементов со светоотражающими свойствами, позволяющие повысить эксплуатационные, прочностные, информационные и эстетические свойства дорожного покрытия, отражающиеся на безопасности движения (патент 8483).

Способ устройства дорожного покрытия (6) путем создания двухслойного жесткого покрытия, в котором нижний слой представляет собой цементобетонные плиты, армированные между собой жесткими стержнями, а верхний слой асфальтобетона. Между цемента- и асфальтобетоном наносят слой из битумополимерного вяжущего (патент 11285). (рис.5).



1. Верхний слой цементобетонной плиты с деформативным швом

2. Средний слой цементобетонной плиты без деформационного шва

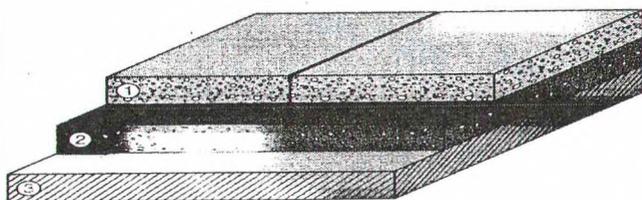


Рис. 5 Многослойная цементобетонная плита

Улучшение качества жесткого дорожного покрытия обеспечивается за счет армирования стыковых соединений путем надвигки плит на жесткие стержни; укладки плит шириной равной половине проезжей части; устройства на боковых плоскостях плит металлических вкладышей; герметизации стыковых соединений прокладкой из пластичного материала. Сокращение сроков строи-

тельства обеспечивается за счет укладки асфальтобетонного слоя сразу после укладки плит.

Заслуживает внимание способ устройства жесткого покрытия в виде многослойной цементобетонной плиты, в которой каждый слой имеет возможность линейного перемещения за счет органической прослойки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Дорожное цементобетонное покрытие является одним из основных видов капитальных покрытий широко распространенных во всем мире из-за высокой прочности, надежности и долговечности, которая может быть обеспечена за счет герметичности стыковых соединений и устройства защитных слоев.

2. Дефектность цементобетонных покрытий можно оценить такими критериями как сплошность, фронт разрушения и стадии распространения разрушения. Трещина является местом концентрации напряжений, которые способствуют возникновению направленных разрывов.

3. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты. Определены теплотехнические показатели для термодинамически несовместимых материалов. Выведены математические выражения для расчета перепада температур при их положительных и отрицательных значениях. Установлена зависимость между адгезионной способностью модификатора и вязкостью праймера, а также содержания в нем поверхностно-активных веществ. Исследована проникающая способность в цементобетон химических веществ, которые могут одновременно оказывать влияние на органическую составляющую праймера-битума, путем его пластификации. Предложены расчетные схемы, позволяющие теоретически обосновать конструкцию усиления цементобетонного покрытия, подверженного разрушению.

4. Разработаны способы, направленные на повышающие долговечности цементобетонных дорожных покрытий: способ усиления дорожной конструкции, способ ремонта дорог, способ поверхностной обработки дорожных покрытий, способ устройства дорожного покрытия.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Леонович, И.И., Бабаскин, Ю.Г., Шевчук, Л.И. Разработка теоретических основ совершенствования структуры жестких дорожных одежд с целью устройства трещиностойких покрытий// Современные строительные технологии и материалы. Импортзамещающие приборы для диагностики и контроля качества в строительстве. Т. 2.- Минск, 2008.- С. 256-269.

Кичанов, Л.М. Основы механики разрушения.- М.: Наука, 1974. -312с.

Пат. 7454 Республика Беларусь. Способ усиления дорожной конструкции/ Бабаскин Ю.Г.- Приоритет 09.04.2002.

Пат. 8020 Республика Беларусь. Способ ремонта дорог/ Бабаскин Ю.Г.- Приоритет 19.12.2002.

Пат. 9493 Республика Беларусь. Способ поверхностной обработки дорожного покрытия/ Бабаскин Ю.Г.- Приоритет 19.12.2002.

Пат. 11285 Республика Беларусь. Способ устройства дорожного покрытия/ Бабаскин Ю.Г., Леонович И.И.- Приоритет 19. 07.2006.