

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ОТРАЖЕННОЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

## DETERMINATION OF IMPACT OF CRITICAL PARAMETERS OF STRUCTURAL LAYERS OF ROADWAY COVERING ON REFLECTIVE CRACKING OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT

*Д. Л. Сериков, начальник отдела республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», г. Минск, Беларусь*

*С. Е. Кравченко, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь*

*А. А. Макаревич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Проектирование дорог» Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь*

*Рассмотрен механизм образования отраженных трещин. Приведена методика расчета конструкций дорожных одежд на трещиностойкость и пути повышения трещиностойкости дорожных покрытий.*

*The mechanism of formation of reflective cracking is considered. The crack resistance analysis procedure for pavement design and ways to improve crack resistance of road surfaces are given.*

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ существующего эксплуатационного состояния дорожных конструкций показывает, что трещины, образующиеся в течение их срока службы, под воздействием транспортных нагрузок и погодных-климатических факторов, составляют более 50 % от общего числа разрушений дорожных покрытий.

В проблеме трещинообразования следует выделить два основных направления: собственное трещинообразование и отраженное трещинообразование. Принимая во внимание основные виды дорожной деятельности на данном этапе, а именно реконструкцию и капитальный ремонт, наиболее актуальной проблемой следует определить проблему отраженного трещинообразования, проявляющегося при использовании существующих цементобетонных и асфальтобетонных покрытий в качестве конструктивных слоев дорожных одежд при указанных видах деятельности.

Проблеме борьбы с отраженными трещинами уделяют большое внимание в разных странах мира, в том числе и в Республике Беларусь. Среди белорусских ученых наиболее глубоко этой

проблемой занимались В. Н. Яромко, В. А. Веренко, В. П. Корюков.

К сожалению, в Беларуси до настоящего времени не разработаны методики расчета конструкций дорожных одежд на температурную трещиностойкость, выбора наиболее трещиностойких конструкций при новом строительстве и назначения наиболее эффективных мероприятий по предотвращению отраженных трещин при реконструкции и капитальном ремонте, что снижает сроки службы дорожных покрытий.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В общем случае вероятность появления трещины в материале покрытия можно оценить с помощью коэффициента запаса прочности

$$K_3 = \frac{R_p}{\sigma_t}, \quad (1)$$

где  $R_p$  – прочность материала верхнего слоя на растяжение в конкретных условиях его работы в конструкции, МПа;



$\sigma_c$  – максимальные растягивающие напряжения в покрытии от воздействия внешних факторов, МПа.

Считается, что основной причиной образования отраженных трещин являются температурные перемещения трещиноватых плит в основании, связанные со сжатием материала при понижении температуры. В результате сжатия плит они укорачиваются и увлекают за собой новые слои покрытия, «разрывая» их в месте над трещиной.

Принимая во внимание вышеприведенный механизм, можно утверждать, что напряженно-деформированное состояние в зоне наличия шва или трещины будут определять следующие факторы:

- растягивающие горизонтальные напряжения в асфальтобетонном покрытии от его несвободного деформирования при изменении температуры;

- растягивающие горизонтальные напряжения в асфальтобетонном покрытии над швами или трещинами цементобетонного основания при горизонтальном деформировании блоков основания вследствие изменения температуры;

- растягивающие горизонтальные напряжения в асфальтобетонном покрытии от его изгиба при проезде транспортного средства;

- растягивающие горизонтальные напряжения в асфальтобетонном покрытии от усадки при старении смеси;

- поперечные касательные напряжения в асфальтобетонном покрытии по вертикальной площадке над швом или трещиной при проезде транспортных средств.

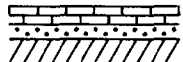
Теоретически анализировать процесс возникновения и распространения трещины в асфальтобетонном слое покрытия на цементобетонном или трещиновато-асфальтобетонном основании довольно сложно. В каждом из этих слоев температура изменяется по глубине и во времени, причем даже при одинаковом изменении температуры по-разному изменяются параметры покрытия и основания в силу различных значений их теплофизических характеристик. Картина появления и распространения отраженных трещин становится гораздо сложнее, если наряду с температурными присутствуют еще и транспортные воздействия. В связи с этим наиболее правильно при исследовании механизма образования и распространения отраженных трещин использовать численное моделирование этого процесса. Вызывают интерес исследования, проведенные сотрудниками Калифорнийского университета в г. Беркли, которые методом конечного элемента моделировали распространение трещины в асфальто-

бетонном слое усиления (как в вязкоупругом материале) под действием повторных нагрузок от автотранспортных средств [1]. Параллельно с этим ставился эксперимент, в ходе которого определяли значения параметров модели и с ними сравнивали результаты расчетов. Примечательно, что прогнозируемая трещина не вертикальна, а образует некоторый угол с вертикальным направлением. Это подтверждается и исследованиями белорусских ученых, которые связали величину отклонения трещины от вертикального направления с углом наклона площадок сдвига в асфальтобетоне, значения которых, в свою очередь, в достаточной степени коррелируются со значениями углов внутреннего трения асфальтобетонной смеси [2]. При проведении эксперимента было также сделано предположение, и оно подтвердилось экспериментально, об отсутствии сцепления между асфальтобетонным покрытием и цементобетонным основанием (отслоение) в пределах примерно 20 см по обе стороны от шва. Аналогичное предположение было сделано и при решении задачи о температурных напряжениях в слое усиления [3]: было принято, что ширина зоны отслоения равна толщине слоя усиления по каждую сторону от шва. При толщине слоя усиления 8 см зона отслоения составила 16 см, что близко к 20 см, отмеченным в [1]. Результаты эксперимента объясняют факты образования двух отраженных трещин в слое усиления над трещиной в нижележащем слое дорожной одежды.

#### МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ

В настоящее время учеными БИТУ и государственного предприятия «БелдорНИИ» разработана методика (программа) расчета конструкций дорожных одежд на температурную трещиностойкость в целом и на отраженное трещинообразование в частности. В качестве основных параметров, влияющих на трещиностойкость дорожных одежд, определены: толщины слоев; величины градиента температур конструктивных слоев; модули упругости; коэффициенты температурного расширения материалов конструктивных слоев.

Задача решалась в объемной постановке. Моделирование конструкции производилось в программе MSC.Patran, а расчет методом конечных элементов – в программе MSC.Marc. В результате расчета были получены общий вид моделей дорожных одежд, деформированных под воздействием транспортной нагрузки и по-



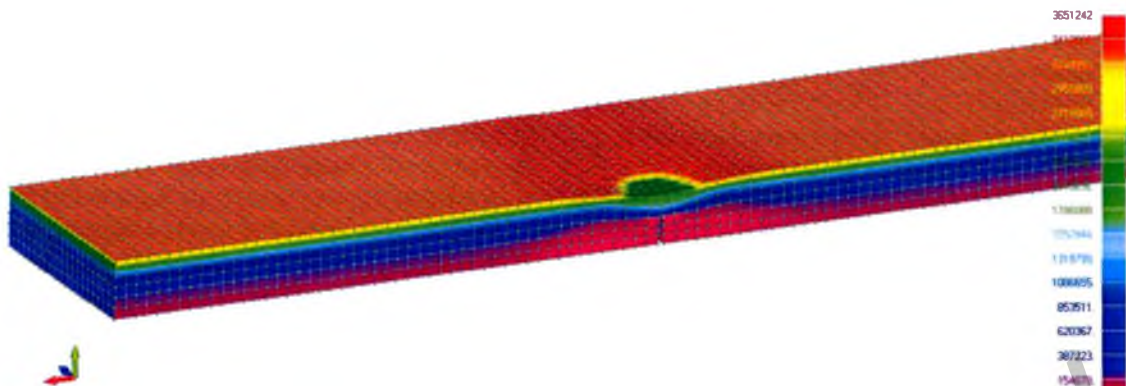


Рисунок 1 - Распределение напряжений и деформация модели

годно-климатических факторов, и выражение для расчета температурных напряжений в покрытии. На рисунке 1 приведен общий вид деформированной дорожной одежды под воздействием внешних факторов (транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов) и распределение в ней напряжений вдоль оси X (перпендикулярно плоскости трещины). На рисунке 2 более подробно показан фрагмент модели в месте приложения транспортной нагрузки над трещиной.

В целом, с учетом моделей с транспортной нагрузкой, было рассчитано 328 вариантов конструкций дорожной одежды. Статистическая обработка данных исследования напряженно-деформированного состояния позволила разработать зависимость максимальных растягивающих

напряжений, возникающих в покрытии, от параметров конструкции дорожной одежды

$$\sigma_t = \bar{\sigma}_t(k_1 + k_2 + k_p), \quad (2)$$

где  $\bar{\sigma}_t$  – среднее значение растягивающих напряжений, МПа, для всех рассчитанных моделей

$$\bar{\sigma}_t = \Delta T \alpha_n \bar{E}, \quad (3)$$

$\Delta T$  – максимальное значение изменения температуры покрытия;

$\alpha_n$  – коэффициент линейного температурного расширения материала покрытия;

$\bar{E}$  – среднее значение расчетного модуля упругости материала покрытия всех исследованных моделей;

$k_1$  – коэффициент влияния параметров покрытия на значение напряжений

Линия наибольших растягивающих напряжений

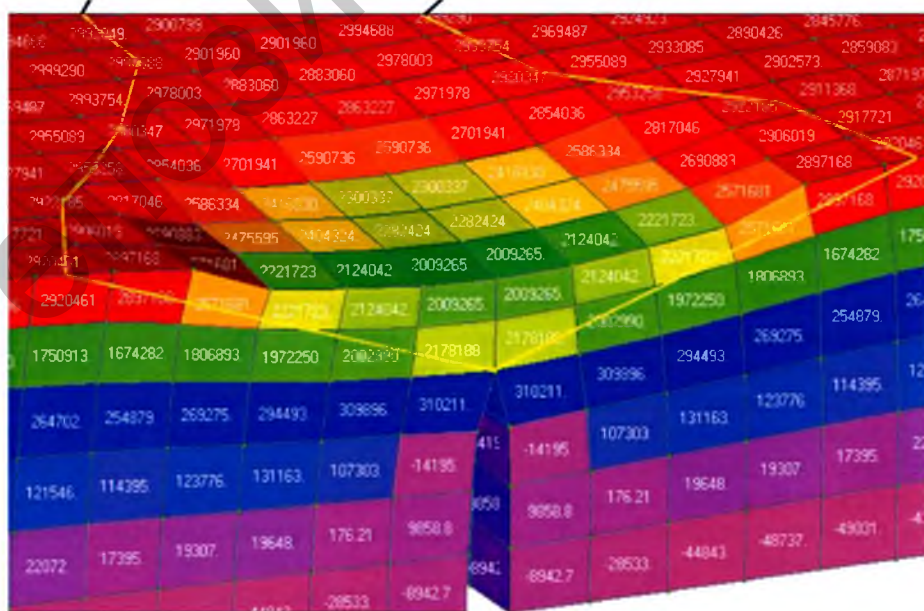
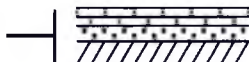


Рисунок 2 - Распространение растягивающих напряжений в покрытии дорожной одежды в случае совместного действия погодно-климатических факторов и транспортной нагрузки



$$k_1 = \frac{0,25 + \frac{E_1}{E_{1m}} + \frac{E_1^2}{E_{1m}^2}}{0,06 + \frac{h_1}{h_{1m}}}, \quad (4)$$

$E_1$  – модуль упругости материала покрытия, МПа. Если новое покрытие состоит из нескольких слоев, то следует принимать средневзвешенное значение модуля упругости;

$E_{1m}$  – максимальное значение модуля упругости материала покрытия, заложенное в расчет конструкций, принимается равным 20 000 МПа;

$h_1$  – толщина нового покрытия, см;

$h_{1m}$  – максимальное значение толщины нового покрытия, заложенное в расчет конструкций, равное 15 см;

$k_2$  – коэффициент влияния параметров основания с трещинами на значение напряжений

$$k_2 = \left(0,04 + \frac{L}{L_m}\right) \left(\frac{E_2}{E_{2m}} - 0,1\right) \left(0,01 + \frac{h_2}{h_{2m}}\right), \quad (5)$$

$E_2$  – модуль упругости материала старого основания с трещинами, МПа. Если оно состоит из нескольких слоев, то следует принимать средневзвешенное значение модуля упругости;

$E_{2m}$  – максимальное значение модуля упругости материала основания;

$h_2$  – толщина основания с трещинами, см;

$h_{2m}$  – максимальное значение толщины основания, заложенное в расчет конструкций, равное 30 см;

$L$  – шаг трещин в основании, м;

$L_m$  – максимальное значение шага трещин, заложенное в расчет конструкций, равное 30 м;

$k_p$  – коэффициент влияния параметров трещинопрерывающей прослойки на значение напряжений

$$k_p = -0,06 \frac{E_{1m} - E_p}{E_1 - E_{pm}}, \quad (6)$$

$E_p$  – модуль упругости материала трещинопрерывающей прослойки, МПа;

$E_{pm}$  – значение модуля упругости материала трещинопрерывающей прослойки, заложенное в расчет конструкции, равное 1000 МПа.

Формула (2) имеет универсальный характер и может быть использована для определения температурных напряжений в покрытии во всех случаях расчета дорожных одежд: при капитальном ремонте с устройством трещинопрерывающей прослойки мембранного типа (учитываются все коэффициенты влияния), при ремонте без устройства трещинопрерывающих мембран (коэффициент  $k_p$  принимается равным 0), при новом строительстве (ко-

эффициенты  $k_2$  и  $k_p$  принимаются равными 0). В случае армирования нового покрытия геосетками, модуль упругости геосетки учитывается при расчете средневзвешенного значения модуля упругости покрытия.

В общем случае, подставляя формулы (3)–(6) в (2), получим выражение для расчета температурных напряжений в покрытии:

$$\sigma_t = \Delta T_n \alpha_n \bar{E} \left[ \frac{0,25 + \frac{E_1}{E_{1m}} + \frac{E_1^2}{E_{1m}^2}}{0,06 + \frac{h_1}{h_{1m}}} + \left(0,04 + \frac{L}{L_m}\right) \left(\frac{E_2}{E_{2m}} - 0,1\right) \times \left(0,01 + \frac{h_2}{h_{2m}}\right) - 0,06 \frac{E_{1m} - E_p}{E_1 - E_{pm}} \right] \quad (7)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика позволяет выполнять расчет моделей конструкций дорожной одежды и находить максимальные растягивающие напряжения в покрытии, что позволяет значительно уменьшить затраты на проектирование и выбор наиболее оптимальной конструкции в каждом конкретном случае.

По результатам расчета можно сделать вывод, что максимальные напряжения, обусловленные погодными факторами, возникают в верхней части покрытия в непосредственной близости от трещины. В случае приложения транспортной нагрузки максимальные растягивающие напряжения возникают не непосредственно над трещиной, а распространяются от трещины на поверхность под некоторым углом, что объясняется видом деформирования покрытия под воздействием транспортной нагрузки.

Анализ характера распределения температурных напряжений в деформированных моделях показывает, что температурные напряжения в покрытии возрастают при увеличении амплитуды колебания температуры, воздействующей на покрытие, коэффициента линейного расширения материала покрытия, модулей упругости материалов всех конструктивных слоев дорожной одежды, толщины основания с трещинами и шага трещин в основании и уменьшаются при увеличении толщины покрытия (слоя усиления), что в свою очередь позволило сделать сле-



дующие выводы о возможных конструктивных путях повышения трещиностойкости дорожных покрытий:

- толщина нового асфальтобетонного покрытия должна по возможности быть большей: покрытия с толщиной менее 10 см являются заведомо нетрещиностойкими;

- расчетный модуль упругости материала верхнего слоя при низких отрицательных температурах должен быть небольшим;

- при устройстве трещинопрерывающих прослоек мембранного типа следует выбирать ма-

териал с наименьшим расчетным модулем упругости. Прослойку нецелесообразно устраивать при близких значениях модулей упругости материалов покрытия и прослойки;

- для увеличения прочности материала покрытия на растяжение целесообразно применение геосеток в качестве армирующих трещинопрерывающих прослоек. При этом наиболее эффективным является расположение геосеток не в нижней, а в верхней части покрытия, где наблюдаются наибольшие растягивающие напряжения. □

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wu, R., Harvey, J. T., Monismith, C. L. A mechanistic model for reflective cracking in asphalt concrete overlays // *Journal of AAPT*. – Vol. 75. – 2006. – P. 491–534.
2. Кравченко, С. Е., Сериков, Д. Л. Структурная модель асфальтобетона и методика оценки его напряженно-деформированного состояния // *Автомобильные дороги и мосты*. – 2008. – № 1. – С. 61–64.
3. Радовский, Б. С., Мозговой, В. В. Температурные напряжения в асфальтобетонном покрытии, лежащем на основании с трещинами либо швами // *Повышение долговечности дорожных конструкций : труды СоюздорНИИ*. – 1985. – С. 29–45.

Статья поступила в редакцию 30.04.13.

