

УДК 539.375

Ш.Г. ГАСАНОВ, д-р техн. наук

Азербайджанский технический университет, г. Баку

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ С УЧЕТОМ ДЕФЕКТОВ ТИПА ТРЕЩИН

Рассматривается плоская задача механики разрушения дорожного покрытия, сцепленного с упругим основанием из другого материала, когда к поверхности покрытия приложена нормальная нагрузка (давление колеса). Краевая задача о равновесии покрытия с трещиной сводится к сингулярному интегральному уравнению, из решения которого находятся коэффициенты интенсивности напряжений. Условие предельного равновесия трещины формулируется с учетом критерия хрупкого разрушения.

Ключевые слова: дорожное покрытие, упругое основание, поперечная трещина, нормальная нагрузка, коэффициенты интенсивности напряжений

Введение. Увеличение объема строительства автомобильных дорог, а также повышение их качества, надежности и долговечности, снижение необходимых материальных затрат, является в настоящее время важной государственной задачей. На первый план выдвигаются проблемы научно обоснованных комплексных методов расчета автомобильных дорог на прочность и долговечность, позволяющих на основе учета реального состояния материала осуществлять оптимальное проектирование с повышением прочности, надежности и долговечности. В связи с этим разработка расчетных моделей исследования повреждения твердого дорожного покрытия является актуальной задачей [1]. В связи с этим в последние годы проводится много исследований [2–7], посвященных расчету напряженно-деформированного состояния и вопросам прочности дорожного покрытия. Однако в большинстве этих работ не учитываются в явном виде дефекты типа трещин. Следует отметить, что работа [8] по объемной мере поврежденности твердых тел при контактом взаимодействии имеет широкий диапазон применения, в частности, может быть применена для расчета опасных объемов и поврежденности дорожного покрытия.

Своевременное обнаружение различных повреждений дорожного покрытия имеет большое значение для надежной и безаварийной работы автомобильного транспорта. Для повышения долговечности дорожного покрытия важно установить нормы допустимой дефектности, выбор способов и периодичности контроля пути. При этом необходимо исходить из возможности наличия в сечении дорожного покрытия наиболее опасных невыявленных дефектов, в частности, дефектов типа трещин. В рассматриваемой статье, в отличие от опубликованных работ [2–8], учитывается наличие в дорожном покрытии дефектов типа трещин. Проводится предельный анализ дорожного покрытия по критериям трещиностойкости.

Постановка задачи. Примем следующие упрощающие предположения относительно работы дорожного покрытия: 1) дорожное покрытие является неразрезной полосой бесконечной длины неизменного поперечного сечения, лежащей на сплошном упругом основании; 2) вертикальные силы приложены в плоскости симметрии дорожного покрытия, а боковые и продольные силы не влияют на изгибающий момент и на напряженно-деформированное состояние, вызванное процессом контактирования колеса с дорожным покрытием.

Рассмотрим в декартовых координатах пару «дорожное покрытие — упругое основание». Дорожное покрытие представляет собой полосу толщиной h с упругими характеристиками G_1 (модуль сдвига) и μ_1 (коэффициент Пуассона), сцепленную с полуплоскостью (упругое основание) с характеристиками G_2 и μ_2 . Пусть в точке $x = 0$, $y = h$ (рисунок 1) к поверхности покрытия приложена нормальная нагрузка в виде сосредоточенной силы P_k (давление колеса). Пусть в сечении покрытия имеется трещина длиной $2l$, расположенная на отрезке $x = 0$, $|y_1| \leq l$. В центре трещины разместим начало локальной системы координат $x_1 O_1 y_1$, причем ось y_1 совпадает с линией трещины. Берега трещин свободны от внешних нагрузок. Граничные условия задачи запишем в следующем виде

$$\begin{aligned} \text{при } y=h \quad \sigma_y^{(1)} &= -P_k \delta(x); \quad \tau_{xy}^{(1)} = 0; \\ \text{при } y=0 \quad u^{(1)} + iv^{(1)} &= u^{(2)} + iv^{(2)}; \quad \sigma_y^{(1)} + i\tau_{xy}^{(1)} = \sigma_y^{(2)} + i\tau_{xy}^{(2)}; \quad (1) \\ \text{при } y_1=0 \quad \sigma_{y_1}^{(1)} &= 0; \quad \tau_{x_1 y_1}^{(1)} = 0 \quad (|y_1| \leq l), \end{aligned}$$

где верхний индекс 1 соответствует покрытию, индекс 2 — полуплоскости; $\delta(x)$ — импульсная функция Дирака; i — мнимая единица; σ_y, τ_{xy} — компоненты тензора напряжений; u, v — компоненты вектора перемещений.

Метод и анализ решения. Считается, что при $y \rightarrow -\infty$ перемещения и напряжения исчезают, на

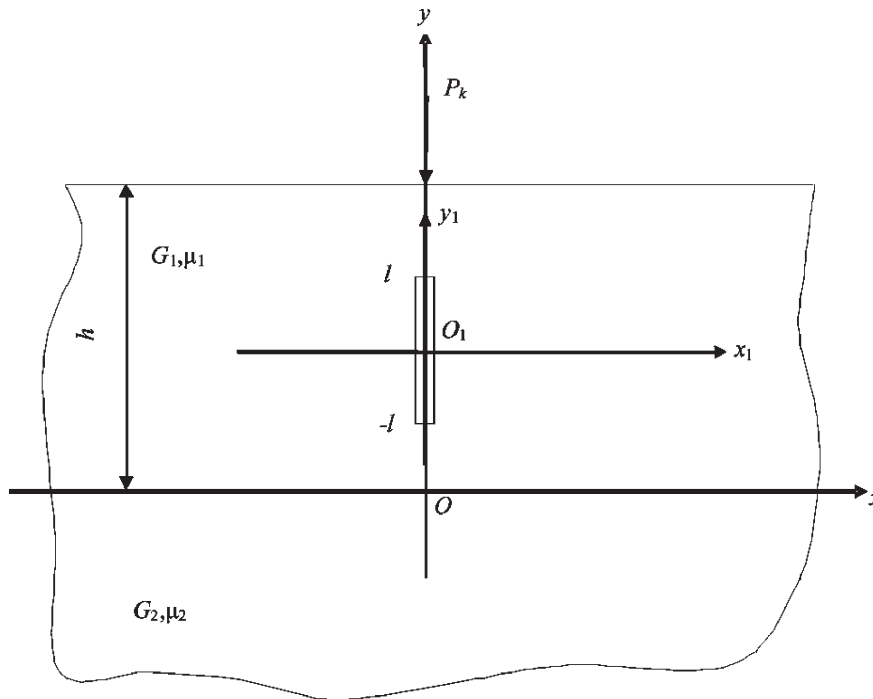


Рисунок 1 – Расчетная схема задачи

границе раздела сред (покрытие и основание) имеет место равенство напряжений и перемещений (условия полного сцепления).

Используем принцип суперпозиции. Напряженное и деформированное состояние двухслойного тела с трещиной можно представить в виде двух состояний. Первое состояние будет определяться из решения следующей краевой задачи для двухслойного тела без трещин

$$\begin{aligned} \text{при } y=h \quad \sigma_y^{(1)} &= -P_k \delta(x); \quad \tau_{xy}^{(1)} = 0 \\ \text{при } y=0 \quad u^{(1)} + iv^{(1)} &= u^{(2)} + iv^{(2)}; \\ \sigma_y^{(1)} + i\tau_{xy}^{(1)} &= \sigma_y^{(2)} + i\tau_{xy}^{(2)} \end{aligned} \quad (2)$$

Второе состояние определяется из решения краевой задачи для полосы с трещиной, на берегах которой действуют усилия, определяемые первым состоянием:

$$\begin{aligned} \text{при } x_1=0 \quad \sigma_{y_1} &= -p(y_1); \quad \tau_{x_1y_1} = -p_1(y_1) \quad (|y_1| \leq l); \\ \text{при } y=h \quad \sigma_y &= 0; \quad \tau_{xy} = 0 \quad (|x| \leq \infty); \\ \text{при } y=0 \quad \sigma_y &= 0; \quad \tau_{xy} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где $p(y_1)$ и $p_1(y_1)$ — нормальные и касательные напряжения, возникающие в сплошной полосе по оси y_1 от действия заданных нагрузок, снимающих напряжения на границе полосы.

Для решения краевой задачи (2) используем функции Папковича-Нейбера $F_n^m(x, y)$ ($n, m = 1, 2$): по две для полосы (верхний индекс 1) и полуплоскости (верхний индекс 2), как известно [9], пере-

мещения и напряжения выражаются через эти функции по следующим формулам

$$\begin{aligned} u^{(m)} &= -\frac{\partial F_1^{(m)}}{\partial x} - y \frac{\partial F_2^{(m)}}{\partial x}; \\ v^{(m)} &= (3 - 4\mu_m) F_2^{(m)} - \frac{\partial F_1^{(m)}}{\partial y} - y \frac{\partial F_2^{(m)}}{\partial y}; \\ \frac{\sigma_y^{(m)}}{2G_m} &= 2(1 - \mu_m) \frac{\partial F_2^{(m)}}{\partial y} - \frac{\partial^2 F_1^{(m)}}{\partial y^2} - y \frac{\partial^2 F_2^{(m)}}{\partial y^2}; \\ \frac{\tau_{xy}^{(m)}}{2G_m} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[(1 - \mu_m) F_2^{(m)} - \frac{\partial F_1^{(m)}}{\partial y} - y \frac{\partial F_2^{(m)}}{\partial y} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая симметрию задачи по оси x , используем cos-преобразование Фурье и примем

$$\begin{aligned} F_1^{(1)} &= \int_0^\infty [A \operatorname{sh} \alpha y + B \operatorname{ch} \alpha y] \cos \alpha x d\alpha; \\ F_2^{(1)} &= \int_0^\infty [C \operatorname{sh} \alpha y + D \operatorname{ch} \alpha y] \alpha \cos \alpha x d\alpha; \\ F_1^{(2)} &= \int_0^\infty E e^{\alpha y} \cos \alpha x d\alpha; \\ F_2^{(2)} &= \int_0^\infty F e^{\alpha y} \alpha \cos \alpha x d\alpha. \end{aligned} \quad (5)$$

С помощью соотношений (4) и (5) находим напряжения и перемещения $\sigma_y^{(m)}, \tau_{xy}^{(m)}, u^{(m)}, v^{(m)}$. Затем, удовлетворяя ими граничным условиям (2), получим систему шести линейных алгебраических уравнений относительно шести неизвестных функций A, B, C, D, E, F параметра α :

$$\begin{aligned}
 & 2(1-2\mu_1)(Csh\alpha h + Dch\alpha h) - Ach\alpha h - \\
 & - Bsh\alpha h - \alpha h(Cch\alpha h + Dsh\alpha h) = 0, \\
 & 2(1-\mu_1)(Cch\alpha h + Dsh\alpha h) - Ash\alpha h - \\
 & - Bch\alpha h - \alpha h(Csh\alpha h + Dch\alpha h) = -\frac{P_k}{2\pi G_1 \alpha^2}, \quad (6) \\
 & B = E, (3-4\mu_1)D - A = (3-4\mu_2)F - E, \\
 & G_1 [2(1-\mu_1)C - B] = G_2 [2(1-\mu_2)F - E], \\
 & G_1 [(1-2\mu_1)D - A] = G_2 [(1-2\mu_2)F - E].
 \end{aligned}$$

Решая систему (6) методом последовательного исключения, находим функции A, B, C, D, E, F . Ввиду некоторой громоздкости, они не приводятся в явном виде.

По формулам (4) при $x=0, |y_1| \leq l$ находятся величины $p(y)$ и $p_1(y)$. Следуя [10], для задачи, описывающей второе напряженное состояние, получим интегральное уравнение

$$\begin{aligned}
 & \int_{-1}^1 \frac{g'(\eta) d\eta}{\eta - \xi} + \int_{-1}^1 [g'(\eta)R(\eta, \xi) + \overline{g'(\eta)}S(\eta, \xi)] d\eta = \pi p_0(\xi), \\
 & p_0(\xi) = p(\xi) + ip_1(\xi) \quad |\xi| < 1, \\
 & \frac{i(1+\kappa)g'(x)}{2G_1} = \frac{\partial}{\partial x} [u^+ - u^- + i(v^+ - v^-)], \quad (7)
 \end{aligned}$$

где κ — постоянная Мусхелишвили для материала полосы;

$$\begin{aligned}
 R(\eta, \xi) &= \int_0^\infty \left[\left(\frac{1}{sh2\tau + 2\tau} + \frac{1}{sh2\tau - 2\tau} \right) H_1(\xi, \eta, \tau, \alpha) + \right. \\
 & \left. + \left(\frac{1}{sh2\tau + 2\tau} - \frac{1}{sh2\tau - 2\tau} \right) G_1^*(\xi, \eta, \tau, \alpha) \right] d\tau, \\
 S(\eta, \xi) &= \int_0^\infty \left[\left(\frac{1}{sh2\tau + 2\tau} - \frac{1}{sh2\tau - 2\tau} \right) H_2(\xi, \eta, \tau, \alpha) + \right. \\
 & \left. + \left(\frac{1}{sh2\tau + 2\tau} + \frac{1}{sh2\tau - 2\tau} \right) G_2^*(\xi, \eta, \tau, \alpha) \right] d\tau, \\
 H_1(\xi, \eta, \tau, \frac{\pi}{2}) &= \\
 &= -\frac{\lambda}{2} ([2\lambda\tau(\eta - \tau(\xi + \eta))] ch\lambda\tau(\xi + \eta) + \\
 & + (-1 - 2\tau + 2\tau^2 + 2\lambda^2\tau^2\xi\eta) sh\lambda\tau(\xi + \eta) + \\
 & + e^{-2\tau} ch\lambda\tau(\eta - \xi)), \\
 G_1^*(\xi, \eta, \tau, \frac{\pi}{2}) &= -\frac{\lambda}{2} ((\lambda\tau(\eta - \xi) ch\lambda\tau(\eta - \xi) + \\
 & + (1 - 2\tau) sh\lambda\tau(\eta - \xi) + \\
 & + e^{-2\tau} sh\lambda\tau(\xi + \eta) + \lambda\tau(\xi + \eta) e^{-2\tau} ch\lambda\tau(\xi + \eta)), \\
 H_2(\xi, \eta, \tau, \frac{\pi}{2}) &= -H_1(\xi, -\eta, \tau, \frac{\pi}{2}), \\
 G_2^*(\xi, \eta, \tau, \frac{\pi}{2}) &= -G_1^*(\xi, -\eta, \tau, \frac{\pi}{2}), \\
 \alpha &= \frac{\pi}{2}, \quad \lambda = \frac{2l}{h}.
 \end{aligned} \quad (8)$$

Ядра $R(\eta, \xi)$ и $S(\eta, \xi)$ действительны и интегральное уравнение (7), как и следовало ожидать, распадается на два действительных уравнения. В случае симметричной задачи (трещина нормально-го разрыва), когда на берегах трещины действуют только нормальные усилия $p(x)$, находим

$$\int_{-1}^1 \left[\frac{1}{\eta - \xi} + K(\eta, \xi) \right] v'(\eta) d\eta = \pi p(\xi), \quad |\xi| < 1, \quad (9)$$

где

$$K(\eta, \xi) = \int_0^\infty \left[\frac{F_1(\xi, \eta, \tau)}{sh2\tau + 2\tau} + \frac{F_2(\xi, \eta, \tau)}{sh2\tau - 2\tau} \right] d\tau, \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 F_1(\xi, \eta, \tau) &= \\
 &= \frac{\lambda}{2} (2(-1 + 2\tau - \tau^2 - \lambda^2\tau^2\xi\eta - e^{-2\tau}) sh\lambda\tau(\xi + \eta) + \\
 & + \lambda\tau(-\xi - 3\eta + (2\tau - e^{-2\tau})(\eta + \xi)) ch\lambda\tau(\xi + \eta) + \\
 & + \lambda\tau(\xi - 3\eta + (2\tau - e^{-2\tau})(\eta - \xi)) ch\lambda\tau(\eta - \xi) + \\
 & + 2(-1 + 2\tau - \tau^2 - \lambda^2\tau^2\xi\eta - e^{-2\tau}) sh\lambda\tau(\eta - \xi)),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_2(\xi, \eta, \tau) &= \\
 &= \frac{\lambda}{2} (2(-1 + 2\tau - \tau^2 - \lambda^2\tau^2\xi\eta + e^{-2\tau}) sh\lambda\tau(\xi + \eta) + \\
 & + \lambda\tau(-\xi - 3\eta + (2\tau + e^{-2\tau})(\eta + \xi)) ch\lambda\tau(\xi + \eta) + \\
 & + \lambda\tau(-\xi - 3\eta + (2\tau + e^{-2\tau})(\eta + \xi)) ch\lambda\tau(\eta - \xi) + \\
 & + 2(1 - 2\tau + \tau^2 - \lambda^2\tau^2\xi\eta - e^{-2\tau}) sh\lambda\tau(\eta - \xi)).
 \end{aligned}$$

При действии только касательных усилий на берегах трещины (трещина поперечного сдвига) интегральное уравнение преобразуется к виду

$$\int_{-1}^1 \left[\frac{1}{\eta - \xi} + L(\xi, \eta) \right] u'(\eta) d\eta = \pi p_1(\xi) \quad |\xi| < 1,$$

где

$$L(\xi, \eta) = \int_0^\infty \left[\frac{E_1(\xi, \eta, \tau)}{sh2\tau + 2\tau} + \frac{E_2(\xi, \eta, \tau)}{sh2\tau - 2\tau} \right] d\tau,$$

$$\begin{aligned}
 E_1(\xi, \eta, \tau) &= \\
 &= \frac{\lambda}{2} [2\tau^2(1 - \lambda^2\xi\eta) sh\lambda\tau(\eta - \xi) - \\
 & - 2\tau^2(1 + \lambda^2\xi\eta) sh\lambda\tau(\eta + \xi) + \\
 & + \lambda\tau [2\eta + (\eta - \xi)(e^{-2\tau} - 1 + 2\tau)] ch\lambda\tau(\eta - \xi) - \\
 & - \lambda\tau [2\eta + (\eta + \xi)(e^{-2\tau} - 1 + 2\tau)] ch\lambda\tau(\eta + \xi)],
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_2(\xi, \eta, \tau) &= \\
 &= \frac{\lambda}{2} [-2\tau^2(1 - \lambda^2\xi\eta) sh\lambda\tau(\eta - \xi) - \\
 & - 2\tau^2(1 + \lambda^2\xi\eta) sh\lambda\tau(\eta + \xi) + \\
 & + \lambda\tau [-2\xi + (\eta - \xi)(e^{-2\tau} - 1 + 2\tau)] ch\lambda\tau(\eta - \xi) + \\
 & - \lambda\tau [2\eta + (\eta + \xi)(e^{-2\tau} - 1 + 2\tau)] ch\lambda\tau(\eta + \xi)].
 \end{aligned}$$

Коэффициенты интенсивности напряжений находили по формуле

$$K_I^{\pm} - iK_{II}^{\pm} = \mp \lim_{y \rightarrow \pm l} \sqrt{\frac{\pi(l^2 - y^2)}{l}} g'(x).$$

Решение каждого интегрального уравнения сводилось к решению системы неоднородных алгебраических уравнений $M \times M$. Проведенный численный анализ показывает, что для получения устойчивого значения искомых функций необходимо взять $M \geq 20$.

Функции $K(\eta, \xi)$ и $L(\eta, \xi)$ вычислялись следующим образом. Вместо интеграла от нуля до бесконечности брался интеграл от нуля до A . Анализ показывает, что подынтегральные функции экспоненциально убывают при $\tau \rightarrow \infty$. Чтобы исследовать влияние величины A на значение искомых функций, были взяты значения $A = 10; 20; 30; 100$. Найдено, что если $A = 100$, значения функций $K(\eta, \xi)$ и $L(\eta, \xi)$ при фиксированном значении $\eta, \xi \in [-1, 1]$ с точностью до 10^{-4} равны значениям функций $K(\eta, \xi)$ и $L(\eta, \xi)$ при $A = 10$. Поэтому для численного расчета принято $A = 10$.

Анализ результатов вычислений для трещины нормального разрыва (рисунок 2) позволяет сделать следующие выводы:

- а) если $G_1/G_2 > 1$, то при постоянной внешней нагрузке P_k и при фиксированных значениях других параметров задачи с увеличением длины трещины коэффициент интенсивности напряжений K_I увеличивается;
- б) если $G_1/G_2 < 1$, то при постоянной внешней нагрузке P_k и при фиксированных значениях других параметров задачи с увеличением длины трещины безразмерный коэффициент интенсивности напряжений $\sqrt{\pi h} K_I / P_k$ сначала увеличивается, затем, начиная с некоторого значения l/h , медленно уменьшается.

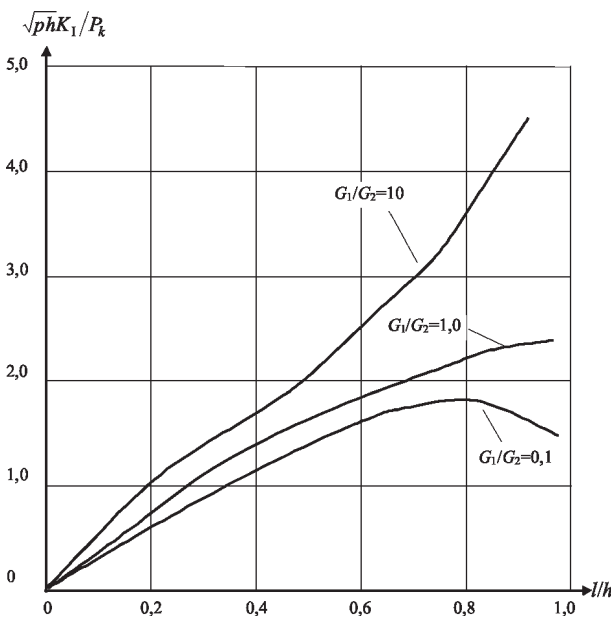


Рисунок 2 — Зависимости коэффициента интенсивности напряжений K_I от длины трещины

Используя критерий хрупкого разрушения при известной трещиностойкости покрытия, содержащего в сечении трещину, находим критическую нагрузку или критическую длину трещины, приводящую к разрушению дорожного покрытия.

Установленные закономерности поведения коэффициента интенсивности напряжений в свою очередь позволяет сделать следующие выводы:

- а) в случае $G_1/G_2 > 1$ может происходить усталостный рост трещины в дорожном покрытии, а также динамический рост трещины и разрушение покрытия, если внешняя нагрузка такова, что длина трещины, содержащейся в покрытии, больше критической;
- б) в случае $G_1/G_2 < 1$ при постоянной внешней нагрузке может происходить торможение или остановка трещины. Это происходит, когда вершина поперечной трещины находится вблизи границы раздела сред, так как при этом сказывается влияние упругого основания.

Для облегчения расчетов при вычислении коэффициента интенсивности напряжений поступали следующим образом. Нашли максимальное значение усилий $p(y)$ и $p_1(y)$

$$\sigma_0 = \max p(y), \tau_0 = \max p_1(y),$$

и тогда для коэффициентов интенсивности напряжений можно использовать известные формулы

$$K_I = \sigma_0 \sqrt{\pi l} (1 - 0,025\lambda^2 + 0,06\lambda^4) \sqrt{\sec \frac{\pi\lambda}{2}}, \lambda = \frac{2l}{h},$$

$$K_{II} = \tau_0 \sqrt{\pi l} (1 + 0,6668\lambda^2 + 0,4536\lambda^4). \quad (11)$$

Другой способ учета усилий $p(y)$ и $p_1(y)$ заключается в том, что вместо их истинного распределения учитываем результирующую силу, приложенную в середине трещины, т. е.

$$P = \int_{-l}^l p(y_1) dy_1, \quad Q = \int_{-l}^l p_1(y_1) dy_1.$$

Тогда для коэффициентов интенсивности напряжений имеем

$$K_I = \frac{P}{\sqrt{\pi l}} \sqrt{\frac{\pi\lambda}{\sin \pi\lambda}} \left(1 + 0,297 \left(1 - \cos \frac{\pi\lambda}{2} \right) \right),$$

$$\lambda = \frac{2l}{h}, \quad K_{II} = \frac{Q}{\sqrt{\pi l}} (1 + 1,3336\lambda^2 + 0,9052\lambda^4). \quad (12)$$

Определение долговечности дорожного покрытия сводится к расчету числа циклов нагружения, при котором дефект типа трещины вырастает от некоторого начального до критического размера. Для определения величины N_f (числа цикла нагружения) используется аппарат механики разрушения [11–13]. Размер области пластических деформаций у вершины трещины значительно меньше ее длины, что позволяет решать поставленную задачу в рамках механики хрупкого разрушения (уровень напряженного-деформированного состояния определяется коэффициентами интенсивности

напряжений K_I и K_{II}). Распространение трещины определяется максимальным коэффициентом интенсивности напряжений

$$K_p = \cos^2 \frac{\beta_*}{2} \left[K_I \cos \frac{\beta_*}{2} - 3K_{II} \sin \frac{\beta_*}{2} \right],$$

$$\beta_* = 2 \arctg \frac{1 - \sqrt{1 + 8k^2}}{4k}, \quad k = \frac{K_{II}}{K_I}, \quad K_I > 0.$$

Трещина будет расти в пределах одного цикла нагружения под углом β_* к своей оси вдоль площадки, на которой возникают максимальные растягивающие напряжения. Скорость роста трещины dl/dN описывается по модифицированной формуле Ли [13]

$$\frac{dl}{dN} = A \left[K_{pmax} (1 - R)^n - K_{th} \right]^m,$$

где K_{pmax} — максимальное значение K_p ; K_{th} — пороговый коэффициент интенсивности напряжений при циклическом нагружении (порог усталости); $R = K_{pmax}/K_{pmin}$ — коэффициент асимметрии цикла; K_{pmin} — минимальное значение K_p цикла; A, m, n — характеристики материала, устанавливаются на основании эксперимента.

Благоприятными условия для роста оказываются у трещины, находящейся в области максимальных растягивающих напряжений. Поэтому при расчете было принято расположение трещины в нормальном направлении к поверхности трения.

Для определения долговечности N_f дорожного покрытия кроме кинетики роста усталостной трещины необходимо еще знать ее критический размер l_* , при достижении которого наступает предельно-равновесное состояние покрытия. Из критерия хрупкого разрушения $K_{pmax} = K_{fc}$ находим уравнение для нахождения критического размера l_* трещины

$$\cos^2 \frac{\beta_*}{2} \left[K_I(l_*) \cos \frac{\beta_*}{2} - 3K_{II}(l_*) \sin \frac{\beta_*}{2} \right] = K_{fc},$$

где K_{fc} — циклическая вязкость разрушения, определяется опытным путем.

Для определения долговечности дорожного покрытия получаем следующую формулу

$$N_f = \int_{l_0}^{l_*} A^{-1} \left[K_{pmax} (1 - R)^n - K_{th} \right]^{-m} dl,$$

где l_0 — начальный размер дефекта типа трещины, определяемый методами неразрушающего контроля. В качестве расчетного размера для l_0 можно брать размер наиболее крупной фракции заполнителя в асфальтобетоне и т. п.

Расчеты проводились с заданными шагами по фактической глубине трещины l для дороги I типа с покрытием из плотного асфальтобетона. На основе опытных данных по усталостному испытанию малозернистого асфальтобетона (модуль упругости $E_1 = 1500$ МПа) было принято $l_0 = 0,15$ мм;

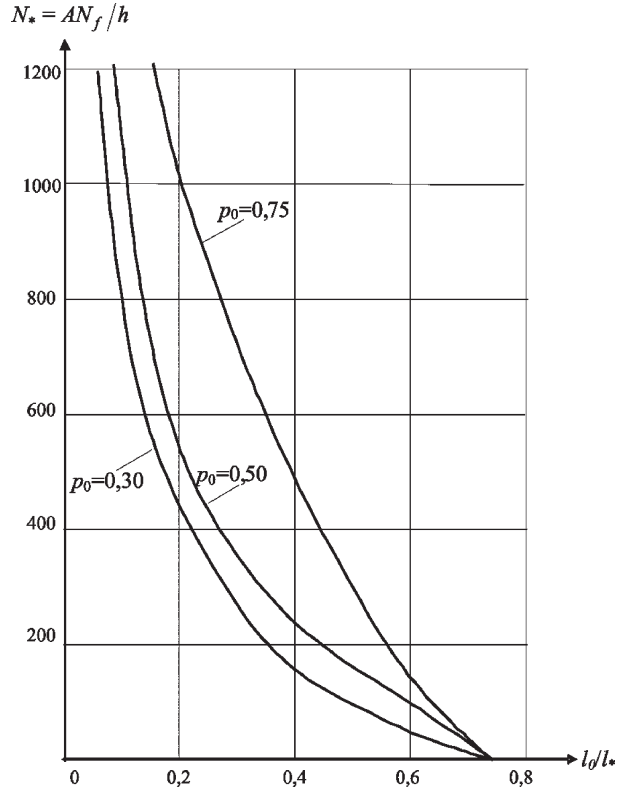


Рисунок 3 — Влияние безразмерной начальной длины трещины на безразмерную долговечность $N_* = AN_f/h$ дорожного покрытия с поперечной трещиной при различной величине безразмерной

$$\text{нагрузки } p_0 = \frac{P_k}{\sqrt{\pi h K_{fc}}} \text{ при } E_1/E_2 = 10$$

$A = 3,16 \cdot 10^{-7} (\text{МПа} \sqrt{\text{м}})^m$ м/цикл; $K_{fc} = 1,15 \text{МПа} \sqrt{\text{м}}$; $K_{th} = 0,27 \text{МПа} \sqrt{\text{м}}$; $m = 2,35$; $n = 0,9$. Результаты расчетов для дорожного покрытия представлены на рисунке 3. На основании таких расчетов можно найти период безопасной эксплуатации дорожного покрытия (остаточный ресурс) при наличии дефекта заданной формы и размера, а также определить допустимую длину трещины, которая обеспечивала бы заданный ресурс работы автомобильных дорог.

Заключение. Предложена методика решения задачи механики разрушения дорожного покрытия, сцепленного с упругим основанием из другого материала, когда к гладкой поверхности покрытия приложена нормальная нагрузка (давление колеса). Полученные соотношения между внешней нагрузкой и длиной трещины, а также механическими и геометрическими характеристиками упругой пары «покрытие — упругое основание» позволяют решать следующие практически важные задачи:

- 1) оценивать гарантированный ресурс дорожного покрытия с учетом ожидаемых дефектов и условий нагружения;
- 2) устанавливать допустимый уровень дефектности и максимальные значения рабочих нагрузок, обеспечивающие достаточный запас надежности;

3) выбирать материал с необходимым комплексом статических и циклических характеристик трещиностойкости.

Список литературы

1. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. — М.: Транспорт, 1987. — Ч. 1. — 368 с.
2. Гасанов, Ш.Г. Влияние неровности поверхности упругого основания на напряженно-деформированное состояние дорожного покрытия / Ш.Г. Гасанов // Проблемы машиностроения и автоматизации. — 2008. — № 4. — С. 61–64.
3. Тукашев, Ж.Б. Исследование напряженно-деформированного состояния дорожного покрытия / Ж.Б. Тукашев, Л.А. Адилханова // Геология, география и глобальная энергия. — 2010. — № 2(37). — С. 163–165.
4. Гасанов, Ш.Г. Расчетный метод исследования усталостного разрушения дорожного покрытия / Ш.Г. Гасанов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. — 2010. — № 2. — С. 14–20.
5. Черноус, Д.А. Прогнозирование механических характеристик асфальтобетона / Д.А. Черноус, С.В. Шилько, С.Е. Кравченко // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 1. — С. 72–74.
6. Есипенко, И.А. Оценка надежности нежестких дорожных одежд / И.А. Есипенко, Г.Л. Колмогоров // Вестн. ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. — 2012. — № 1. — С. 110–118.
7. Экспериментальное определение трещиностойкости дорожного покрытия / Г.А. Лаврушин [и др.] // Вологодские чтения. — 2012. — № 80. — С. 40–41.
8. Журавков, М.А. Объемная мера поврежденности твердых тел при их контактном взаимодействии и некоторые ее приложения / М.А. Журавков, С.С. Щербаков // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 4. — С. 91–95.
9. Уфлянд, Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости / Я.С. Уфлянд. — Л.: Наука, 1967. — 420 с.
10. Панасюк, В.В. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках / В.В. Панасюк, М.П. Саврук, А.П. Дацышин. — Киев: Наук. думка, 1976. — 443 с.
11. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. — М.: Наука, 1974. — 640 с.
12. Панасюк, В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов / В.В. Панасюк. — К.: Наук. думка, 1991. — 416 с.
13. Endo, K. Initiation and propagation of fretting fatigue cracks / K. Endo, H. Goto // Wear. — 1976. — Vol. 38. — Pp. 311–324.

Hasanov Sh.H.

Solution of fracture mechanics for the transverse crack in the cross section of road cover

The plane problem of fracture mechanics for a transverse crack that occurs in a section of coating, that coupled with the elastic base of another material when the surface coating applied normal load (wheel load), is considered. The boundary value problem of the equilibrium coverage with a crack is reduced to a singular integral equation from solutions of which the stress intensity factors were determined. The condition of limiting equilibrium cracks is formulated taking into account the criterion of brittle fracture.

Keywords: road coating, elastic base, transverse crack, normal load, stress intensity factors

Поступила в редакцию 15.03.2012.