

ТРЕЩИНА СО СВЯЗЯМИ МЕЖДУ БЕРЕГАМИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ

Ш.Г. ГАСАНОВ, доктор технических наук, доцент
Азербайджанский технический университет, г. Баку,
E-mail: irakon63@hotmail.com

Исследуется плоская задача о трещине-расслоении, возникающей на границе раздела дорожного покрытия, сцепленного с упругим основанием из другого упругого материала, когда к поверхности покрытия приложена нормальная нагрузка. Задача о равновесии трещины на границе соединения материалов при действии внешних нормальных нагрузок и усилий в связях, препятствующих ее раскрытию, сводится к системе нелинейных сингулярных интегро-дифференциальных уравнений с ядром типа Коши. Условие предельного равновесия трещины с концевой зоной формулируется с учетом критерия предельной вытяжки связей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожное покрытие, трещина, упругое основание, кусочно-квадратичная аппроксимация, механика разрушения.

Анализ [1, 2] состояния дорожных покрытий на упругом основании выявил, что материалам таких соединений свойственны трещиновидные несплошности. Между дорожным покрытием и упругим основанием могут появляться переходные зоны, в которых физико-механические свойства материала отличаются от свойств соединяемых материалов. Эти повреждения на границе раздела сред покрытия и упругого основания могут иметь как естественное происхождение (расслоения, включения, поры), так и вызываться технологическими процессами. Несмотря на важное значение отмеченных факторов на прочность многослойных структур до настоящего времени эти вопросы не нашли должного в методах расчета и проектирования дорожной одежды. Следовательно, разработка расчетных моделей исследования повреждений дорожного покрытия представляет актуальную проблему.

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.

Для расчета напряженно-деформированного состояния пары дорожное покрытие - упругое основание приходим к следующей задаче теории упругости.

Пусть в декартовых координатах x, y имеем двухслойное тело, состоящее из покрытия толщины h с упругими характеристиками G_1 (модуль сдвига) и μ_1 (коэффициент Пуассона), сцепленной с упругой полуплоскостью с характеристиками G_2 и μ_2 (рис. 1).

Рассмотрим задачу механики разрушения для двухслойного тела, когда к наружной поверхности приложена нормальная нагрузка $p(x)$. На границе поверхности дорожного покрытия $y = h$, $|x| < \infty$ касательное напряжение равно нулю. Считаем, что под действием этой нагрузки на линии раздела упругих сред $y = 0$ в силу недостаточной адгезионной прочности между покрытием и полуплоскостью (основанием) образуется трещина. Принимается, что при действии нормальной нагрузки на поверхности покрытия взаимодействие между

поверхностями в концевых зонах трещины характеризуется нормальными и касательными напряжениями сцепления.

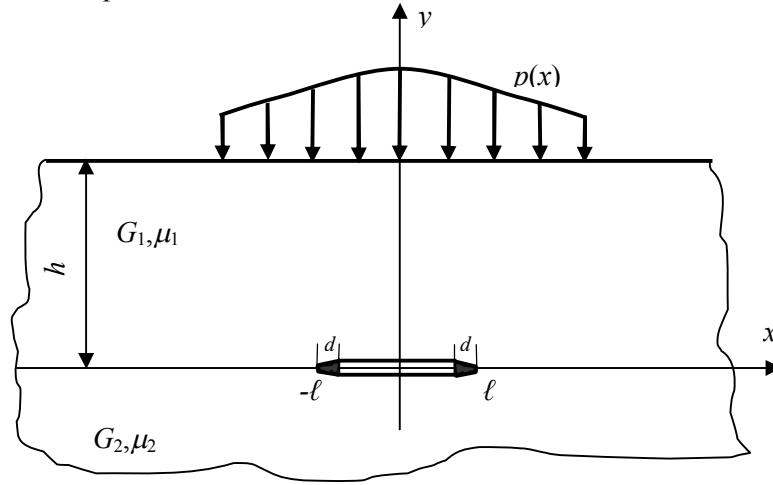


Рис. 1. Расчетная схема задачи

Выделим части трещины длиной d (концевые зоны), примыкающие к ее вершинам ($\ell - d \leq |x| \leq \ell$, $y = 0$), в которых берега трещины взаимодействуют, так что это взаимодействие сдерживает раскрытие трещины. Взаимодействие берегов концевой зоны моделируется путем введения между берегами трещины связей, имеющих заданную диаграмму деформирования. Физическая природа таких связей и размеры концевой зоны зависят от вида соединяемых материалов. Считается, что закон деформирования связей задан. В общем случае он представляет нелинейный закон деформирования [3 – 5].

При действии внешней нормальной нагрузки в связях, соединяющих берега трещины на границе раздела сред, возникают нормальные $q_y(x)$ и касательные $q_{xy}(x)$ усилия. Величины этих напряжений заранее неизвестны и подлежат определению в процессе решения задачи.

Используем принцип суперпозиции. Рассматриваемое состояние двухслойного тела можно представить в виде суммы двух напряженных состояний:

1) адгезионное соединение материалов без трещины под действием нормальной нагрузки $p(x)$ на наружной поверхности покрытия;

2) адгезионное соединение материалов с трещиной на границе раздела сред, при этом на берега трещины сносятся напряжения, имеющие место на этой линии, где расположена трещина, в первом напряженном состоянии.

Граничные условия задачи для первого напряженного состояния запишутся в виде (верхний индекс 1 соответствует покрытию, верхний индекс 2 – полуплоскости):

$$\text{при } y = h \quad \sigma_y^{(1)} = -p(x); \quad \tau_{xy}^{(1)} = 0; \quad (1)$$

$$\text{при } y = 0 \quad u^{(1)} + iv^{(1)} = u^{(2)} + iv^{(2)}; \quad (2)$$

$$\sigma_y^{(1)} + i\tau_{xy}^{(1)} = \sigma_y^{(2)} + i\tau_{xy}^{(2)},$$

где $i^2 = -1$, при $y \rightarrow -\infty$ перемещения и напряжения исчезают.

Для решения краевой задачи (1), (2) используем четыре функции Папковича-Нейбера $F_n^m(x, y)$ ($n, m = 1, 2$). Из них две для покрытия (верхний индекс 1) и две для полуплоскости (верхний индекс 2).

Напряжения и перемещения выражаются через функции Папковича-Нейбера по известным формулам [6]

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

В виду симметрии задачи по x , используем \cos -преобразование Фурье. Примем, что

$$\begin{aligned}F_1^{(1)} &= \int_0^\infty [Ash\alpha y + Bch\alpha y] \cos \alpha x d\alpha, \\ F_2^{(1)} &= \int_0^\infty [Csh\alpha y + Dch\alpha y] \alpha \cos \alpha x d\alpha, \\ F_1^{(2)} &= \int_0^\infty Ee^{\alpha y} \cos \alpha x d\alpha, \quad F_2^{(2)} = \int_0^\infty Fe^{\alpha y} \alpha \cos \alpha x d\alpha.\end{aligned}\quad (4)$$

Удовлетворяя функциями (3), (4) граничным условиям (1), (2), получим систему шести линейных алгебраических уравнений относительно шести неизвестных функций $A(\alpha)$, $B(\alpha)$, $C(\alpha)$, $D(\alpha)$, $E(\alpha)$, $F(\alpha)$:

$$\begin{aligned}2(1-\mu_1)(Cch\alpha h + Dsh\alpha h) - Ash\alpha h - Bch\alpha h - \alpha h(Csh\alpha h + Dch\alpha h) &= -\frac{\tilde{p}}{2G_1\alpha^2}, \\ (1-2\mu_1)(Csh\alpha h + Dch\alpha h) - Ach\alpha h - Bsh\alpha h - \alpha h(Cch\alpha h + Dsh\alpha h) &= 0, \\ B = E, \quad (3-4\mu_1)D - A = (3-4\mu_2)F - E, \\ G_1[2(1-\mu_1)C - B] = G_2[2(1-\mu_2)F - E], \quad G_1[(1-2\mu_1)D - A] = G_2[(1-2\mu_2)F - E],\end{aligned}\quad (5)$$

где трансформанта преобразования Фурье $\tilde{p} = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty p(x) \cos \alpha x dx$.

Решая алгебраическую систему уравнений (5) методом последовательного исключения неизвестных, находим коэффициенты $A(\alpha)$, $B(\alpha)$, $C(\alpha)$, $D(\alpha)$, $E(\alpha)$, $F(\alpha)$.

С помощью соотношений (3), (4) находим компоненты напряжений σ_y^1 и τ_{xy}^1 на $|x| \leq \ell$, $y = 0$

$$\begin{aligned}\sigma_y^1(x,0) &= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\tilde{p}(\alpha)}{a + be^{-4\alpha h} + te^{-2\alpha h}} \left\{ a(1-\alpha x)e^{-\alpha x} + b(1+\alpha x)e^{-\alpha(4h-x)} + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{2} [R_1 e^{-\alpha(2h-x)} + R_2 e^{-\alpha(2h+x)}] \right\} \cos \alpha h d\alpha, \\ \tau_{xy}^1(x,0) &= \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{\tilde{p}(\alpha)}{a + be^{-4\alpha h} + te^{-2\alpha h}} \left\{ a(1-2\mu_1 + \alpha x)e^{-\alpha x} + \right.\end{aligned}\quad (6)$$

$$+ \frac{1}{2} \left[R_3 e^{-\alpha(2h-x)} + R_4 e^{-\alpha(2h+x)} \right] \left. \vphantom{\frac{1}{2}} \right\} \sin \alpha h d \alpha .$$

$$\text{Здесь } a = 3 - 4\mu_1 + 10\kappa + 3\kappa^2 - 12\mu_1\kappa - 12\mu_2\kappa + 16\mu_1\mu_2\kappa - 4\mu_2\kappa^2 ,$$

$$b = 3 - 4\mu_1 - 6\kappa + 4\mu_2\kappa + 4\mu_1\kappa + 3\kappa^2 - 4\mu_2\kappa^2 ,$$

$$t = 10 - 24\mu_1 - 4\kappa + 16\mu_1^2 + 8\kappa\alpha^2 h^2 + 4h^2\alpha^2 - 16\kappa\alpha^2 h^2 - 12\kappa^2\alpha^2 h^2 +$$

$$+ 16\mu_2\kappa^2\alpha^2 h^2 + 8\mu_2\kappa^2 - 6\kappa^2 + 8\mu_1\kappa - 16\mu_1\mu_2\kappa + 8\mu_2\kappa , \quad R_1 = a_1(\alpha h + 1) + c(\alpha h + 2) - t ,$$

$$R_2 = a_1(\alpha h - 1) + c(2 - \alpha h) - t , \quad R_3 = a_1\alpha x + c(1 + \alpha x) - t , \quad R_4 = \alpha x(c - a_1) + t ,$$

$$c = 2 + 4\kappa - 6\kappa^2 - 8\mu_2\kappa + 8\mu_2\kappa^2 , \quad \kappa = G_1/G_2 ,$$

$$a_1 = 4\alpha h + 8\kappa\alpha h - 12\kappa^2\alpha h - 16\mu_2\kappa\alpha h + 16\kappa^2\mu_2\alpha h .$$

Граничные условия на берегах трещины для второго напряженного состояния будут

$$\sigma_y - i\tau_{xy} = -(\sigma_y^1 - i\tau_{xy}^1) , \quad |x| < \ell - d \quad (7)$$

$$\sigma_y - i\tau_{xy} = -(\sigma_y^1 - i\tau_{xy}^1) + q_y(x) - iq_{xy}(x) , \quad \ell - d \leq |x| \leq \ell .$$

Условия (1) – (7) должны быть дополнены соотношением, связывающим раскрытие берегов трещины и усилия в связях. Это уравнение, без потери общности, в поставленной задаче можно представить в виде

$$v^+(x, 0) - v^-(x, 0) - i[u^+(x, 0) - u^-(x, 0)] = C(x, \sigma)[q_y(x) - iq_{xy}(x)] , \quad (8)$$

где σ – модуль вектора усилий в связях; $C(x, \sigma)$ – эффективная податливость связей, зависящая от натяжения связей, $(v^+ - v^-)$ – нормальная составляющая раскрытия берегов в концевой области трещины, $(u^+ - u^-)$ – касательная составляющие раскрытия берегов в концевой области трещины.

Эффективную податливость связей в соотношении (8) из соображений теории размерности можно представить так

$$C(x, \sigma) = \frac{H}{E_s} F(x, \sigma) , \quad (9)$$

где $F(x, \sigma)$ – безразмерная функция; E_s – эффективный модуль упругости связей; H – линейный размер, пропорциональный толщине зоны неоднородности на участке соединения материалов.

Из-за того, что длина трещины мала по сравнению с размерами двухслойного тела, то компоненты раскрытия берегов трещины можно представить в форме

$$v^+(x, 0) - v^-(x, 0) = \frac{\ell}{E_s} C_0 F(x, \sigma) q_y(x) , \quad u^+(x, 0) - u^-(x, 0) = \frac{\ell}{E_s} C_0 F(x, \sigma) q_{xy}(x) ,$$

$$C_0 = \frac{H}{\ell} ,$$

где параметр C_0 характеризует относительную податливость связей в концевой зоне трещины.

Приближенные представления для раскрытия берегов трещины при произвольной нагрузке на ее берегах могут быть получены на основе решения для раскрытия трещины при действии сосредоточенной силы, приложенной на поверхности трещины [7]. В случае двухслойного тела в дальнейшем будет удобнее использовать выражение для производных раскрытия трещины.

Выражение для производных перемещений берегов трещины при действии произвольных нагрузок на ее поверхности, приведенное в [8], после преобразований и симметрии искомых функций, примет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} [v^+(x, 0) - v^-(x, 0) - i(u^+(x, 0) - u^-(x, 0))] = A \frac{(1-\lambda)}{1+\lambda} (\tau_{xy} + i\sigma_y) - \\ - \frac{2A}{\pi\sqrt{\ell^2 - x^2}} \left(\frac{\ell-x}{\ell+x} \right)^{-i\beta} \left[\int_0^\ell \frac{\sqrt{\ell^2 - \xi^2}}{\xi^2 - x^2} (x\sigma_{y_1}(\xi) - i\xi\tau_{xy_1}(\xi)) d\xi + \right. \\ \left. + \int_{\ell-d}^\ell \frac{\sqrt{\ell^2 - \xi^2}}{\xi^2 - x^2} (xp_y(\xi) - i\xi p_{xy}(\xi)) d\xi \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{Здесь} \quad q_y(x) - q_{xy}(x) = (p_y(x) - ip_{xy}(x)) \left(\frac{\ell-x}{\ell+x} \right)^{-i\beta}, \\ \sigma_y^1 - i\tau_{xy}^1 = (\sigma_{y_1}(x) - i\tau_{xy_1}(x)) \left(\frac{\ell-x}{\ell+x} \right)^{-i\beta}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$A = \frac{1}{4} \left(\frac{\kappa_1 + 1}{G_1} + \frac{\kappa_2 + 1}{G_2} \right), \quad \kappa_{1,2} = 3 - 4\mu_{1,2}, \quad \beta = \frac{\ln \lambda}{2\pi}, \quad \lambda = \frac{G_2\kappa_1 + G_1}{G_1\kappa_2 + G_2}.$$

Отметим, что $q_y(x)$, $p_y(x)$ - четные функции, а $q_{xy}(x)$, $p_{xy}(x)$ - нечетные. Функции $p_y(x)$ и $p_{xy}(x)$ подлежат определению из решения задачи.

Для коэффициентов интенсивности напряжений от действия внешних нагрузок и связей в концевой зоне, найдем

$$\begin{aligned} K_I + iK_{II} = \frac{ch\pi\beta}{(2\ell)^{1/2+i\beta}} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_{-\ell}^\ell \left(\frac{\ell+\xi}{\ell-\xi} \right)^{1/2+i\beta} [\sigma_y^1(\xi) + i\tau_{xy}^1(\xi)] d\xi - \\ - \frac{ch\pi\beta}{(2\ell)^{1/2+i\beta}} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_{-\ell}^\ell \left(\frac{\ell+\xi}{\ell-\xi} \right)^{1/2+i\beta} [q_y(\xi) + iq_{xy}(\xi)] d\xi. \end{aligned} \quad (12)$$

Для определения напряжений в связях в концевой зоне трещины получим интегро-дифференциальное уравнение. Перейдем к безразмерным переменным $\tau = x/\ell$, $t = \xi/\ell$. Подставляя формулы (8) – (9) в (10) после некоторых преобразований, получаем систему нелинейных интегро-дифференциальных уравнений относительно неизвестных функций $p_y(\tau)$ и $p_{xy}(\tau)$:

$$\begin{aligned} \frac{C_0}{E_s} \frac{\partial}{\partial \tau} [F(\tau, \sigma)(q_y(\tau) - iq_{xy}(\tau))] - A \left(\frac{1-\lambda}{1+\lambda} \right) (q_{xy}(\tau) + iq_y(\tau)) + \\ + \frac{2A}{\pi\sqrt{1-\tau^2}} \left(\frac{1-\tau}{1+\tau} \right)^{-i\beta} \int_{1-d/\ell}^1 K(\tau, t) [\tau p_y(x) - it p_{xy}(x)] dt = \\ = A \left(\frac{1-\lambda}{1+\lambda} \right) (\tau_{xy}^1 + i\sigma_y^1) - \frac{2A}{\pi\sqrt{1-\tau^2}} \left(\frac{1-\tau}{1+\tau} \right)^{-i\beta} \int_0^1 K(\tau, t) [\tau \sigma_{y_1}(t) - it \tau_{xy_1}(x)] dt. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь ядро $K(\tau, t)$ интегрального оператора в (13) имеет вид

$$K(\tau, t) = \frac{\sqrt{1-t^2}}{t^2 - \tau^2}. \quad (14)$$

Решение системы уравнений позволяет определить неизвестные функции $p_y(\tau)$ и $p_{xy}(\tau)$ и, тем самым, напряжения в связях $q_y(x)$, $q_{xy}(x)$.

Методика численного решения.

Полученные уравнения (13) представляют собой систему нелинейных сингулярных интегро-дифференциальных уравнений с ядрами типа Коши. Для их решения используем коллокационную схему кусочно-квадратичной аппроксимацией неизвестных функций. Перейдем к безразмерным переменным $q_y(\tau) = q_y(x)/p_0$; $q_{xy}(\tau) = q_{xy}(x)/p_0$; $p_y(\tau) = p_y(x)/p_0$; $p_{xy}(\tau) = p_{xy}(x)/p_0$, где p_0 - силовой фактор. Преобразуем систему уравнений (13) к форме удобной для численного решения. Неизвестные функции $p_y(\tau)$ и $p_{xy}(\tau)$ ищем в виде

$$p_y(\tau) = f_1(\tau)\sqrt{1-\tau}, \quad p_{xy}(\tau) = f_2(\tau)\sqrt{1-\tau}. \quad (15)$$

Проведем дифференцирование по переменной τ в левой части уравнения (13). После соответствующих преобразований, умножения обеих частей уравнения на $(\sqrt{1-\tau})/\cos\varphi(\tau)$ и разделения действительных и мнимых частей, найдем

$$A_{ij}(\tau, \sigma) \frac{df_j(\tau)}{d\tau} B_{ij}(\tau, \sigma) f_j(\tau) + a_0 \int_{1-d/\ell}^1 K_{ij}(\tau, t) f_j(t) dt = D_i(\tau), \quad (16)$$

$$(i, j = 1, 2),$$

$$A_{ij}(\tau, \sigma) = (1-\tau)F(\tau, \sigma) [\delta_{ij} + \lambda_{ij} \operatorname{tg}\varphi(\tau)], \quad \lambda_{ij} = (1-\delta_{ij}) \operatorname{sgn}(i-j),$$

$$B_{ij}(\tau, \sigma) = \gamma(\tau, \sigma) \left[\delta_{ij} \left(\frac{2\beta}{1+\tau} \operatorname{tg}\varphi(\tau) - \frac{1}{2} \right) - \lambda_{ij} \left(\frac{\operatorname{tg}\varphi(\tau)}{2} - \frac{2\beta}{1+\tau} \right) \right] -$$

$$- (1-\tau) \left[\frac{\pi a_0 (1-\lambda)}{2(1+\lambda)} (\delta_{ij} \operatorname{tg}\varphi(\tau) - \lambda_{ij}) - \frac{d\gamma(\tau, \sigma)}{d\tau} (\delta_{ij} + \lambda_{ij} \operatorname{tg}\varphi(\tau)) \right],$$

$$K_{ij}(\tau, t) = \frac{H(\tau, t)}{\sqrt{1+\tau}} [\tau(2-j) + t(j-1)] (\delta_{ij} + \lambda_{ij} \operatorname{tg}\varphi(\tau)), \quad H(\tau, t) = \frac{(1-t)\sqrt{1+t}}{t^2 - \tau^2};$$

$D_i(\tau)$ представляют собой действительную и мнимую, соответственно, правые части уравнения (13).

Первый шаг итерационного решения уравнения (16) заключается в решении этого уравнения для линейно-упругих связей. На каждой последующей итерации уравнения (16) решается для квазиупругих связей вида (8) с эффективной податливостью вдоль концевой зоны трещины и зависящей от величины модуля вектора усилий в связях, найденного на предыдущем шаге решения. Вычисление эффективной податливости осуществляется подобно нахождению текущего модуля в методе переменных параметров упругости [9]. Процесс итерации заканчивается, как только усилия в связях, найденные на двух последовательных итерациях, мало отличаются друг от друга.

Для анализа предельного равновесия трещины-расслоения с концевой зоной необходимо рассмотреть два условия разрушения: 1) условие разрыва связей на краю концевой зоны и 2) условие роста вершины трещины.

Для условия продвижения трещины использовали силовое [10] условие

$$K_I + iK_{II} = K_{Ic} + iK_{IIc}. \quad (17)$$

Из этого соотношения с учетом формулы (12) найдем соотношение, связующее внешнюю нормальную нагрузку и напряжения в связях.

В качестве первого условия разрушения использовали критерий критического раскрытия трещины. Считали, что разрыв связей на краю концевой зоны ($x_0 = \ell - d$) происходит при выполнении следующего условия

$$\left| v^+(x_0) - v^-(x_0) - i(u^+(x_0) - u^-(x_0)) \right| = \delta_c, \quad (18)$$

где δ_c - предельная вытяжка связи.

При использовании силового условия роста трещины, характеристики состояния предельного равновесия трещины-расслоения в двухслойном теле определяются из совместного решения системы уравнений (16), (17), (18).

На рис. 2 приведены графики распределения нормальных напряжений в связях q_y/p_0 (p_0 - силовой фактор) вдоль концевой зоны трещины при $H/l = 0,1$ для различных относительных размеров концевой зоны d/l .

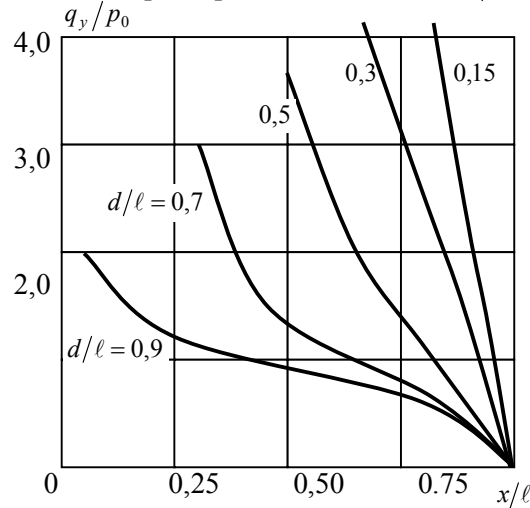


Рис. 2

Усилия в связях всегда максимальны на краю концевой зоны при постоянной вдоль концевой области податливости связей. Характер изменения касательных напряжений вдоль концевой зоны подобен изменению нормальных напряжений, но абсолютные значения касательных напряжений значительно ниже. На основании расчетов в таблице приведены значения абсолютных максимумов модуля вектора усилий параметров для различных значений параметров κ и β при $H/l = 0,1$; $E_s = 1,5$ ГПа.

κ	$ \beta $	σ/p_0
1	0	6,888
2	0,053351	6,814
5	0,110318	6,603
10	0,138312	6,407
50	0,166633	6,214
100	0,170675	6,172

Анализ численных результатов показывает, что с увеличением параметра κ ($1 \leq \kappa \leq 1000$) происходит перераспределение компонент усилий. Касательные усилия в связях значительно возрастают, а нормальные снижаются. При $\kappa \rightarrow \infty$ ($\beta \rightarrow 0,175$) нормальные и касательные компоненты напряжений сравнимы по величине.

На рис. 3 приведены зависимости отношения K_{II}/K_I от размера концевой зоны трещины d/l .

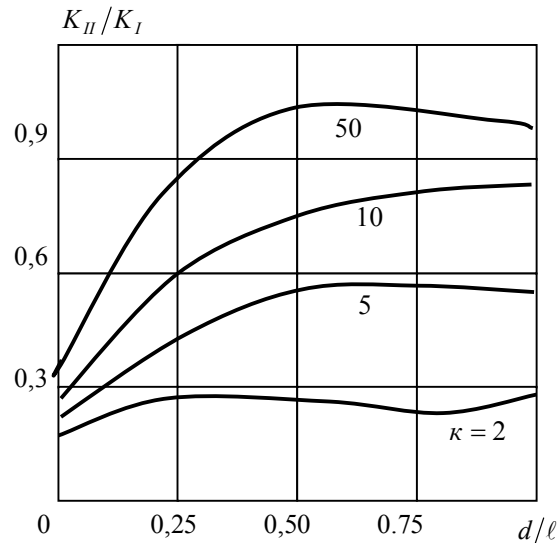


Рис. 3

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. – Изд. 2-е. – М.: Транспорт. 1987. – 368 с.

2. Шясянов Ш.Ш., Пириев Й.М., Гараисаев Н.М. Автомобил йолларынын няглийат-истисмар эюстяригыляринин йцксялдилмяси. – Бақы: Азярбайъан няшрийаты, 2009. – 360 с.

3. Budiansky B., Evans A.G., Hutchinson J.W. Fiber-matrix de bonding effects on cracking in aligned fiber ceramic composites// Int. J. Solid Structures, 1995, v.32, No 3-4, p.315-328.

4. Ji H., de Gennes P.G. Adhesion via Connector Molecules: The Many-stitch Problem. Macromolecules, 1993, vol. 26. P. 520-525.

5. Goldstein R.V., Bakirov V.F., Perelmuter M.N. Modeling of the adhesion strength and fracture kinetics of the microelectronic package polymer-polymer joints // Int. Proc. Inst. Phys. Technol. Russian Ac. A Sci. v. 13. Modeling and Simulation of submicron Technology and Devices, 1997, p. 115-125.

6. Уфлянд Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 367 с.

7. Rice J.R., Sih G.C. Plane problems of cracks in dissimilar media // Trans. ASME, J. Appl. Mech., 1965, v. 32. P. 218-224.

8. Слепян Л.И. Механика трещин. – Л.: Судостроение, 1981, 295 с.

9. Биргер И.А. Расчет конструкций с учетом пластичности и ползучести // Изв. АН СССР. Механика, 1965, №2. С. 113 – 119.

10. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. 640с.

A CRACK WITH INTERFACIAL BONDS BETWEEN FACE ON BORDER OF THE UNIT OF THE ROAD COVERING AND THE ELASTIC BASIS

Hasanov Sh.H.

The plane problem about the crack - stratification, arising on border of the unit of the road covering linked to the elastic basis from other elastic material when normal loading is enclosed to a surface of a covering is investigated. The problem on equilibrium of a crack on border of connection of materials at action of external normal loadings and tractions in the bonds interfering its disclosing, is reduced to system nonlinear singular the integro-differential equations with a nucleus such as Cauchy. The condition of limit equilibrium of a crack with a tip zones is formulated, taking account in view of criterion of limit traction of the bonds.

KEY WORDS: road covering, crack, elastic base, criterion of limit traction of the bonds, integro-differential equations.