



ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ МІСЬКИХ ДОРОЖНИХ ОДЯГІВ

В. В. Мозговий, О. М. Бесараб, О. О. Жуков, А. М. Онищенко

*Національний транспортний університет,
вул. Суворова, 1, м. Київ, Україна, 01010.*

Отримана 12 червня 2006; прийнята 17 липня 2006.

Анотація. Розроблена класифікація умов навантаження асфальтобетонних шарів і виділені характерні ділянки. Обґрунтована і розроблена методика визначення горизонтальних розтягуючих напружень, які можуть викликати їх розтріскування при одноразовому або багаторазовому прикладанні навантаження залежно від тривалості дії навантаження. Сформульовані умови граничного стану, які описують розтріскування асфальтобетонних шарів при різних режимах і часу дії навантаження. Одержані аналітичні залежності для оцінки впливу поверхневих горизонтальних розтягуючих напружень на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів дорожнього одягу. На основі лабораторних досліджень підтверджена достовірність теоретичних положень і встановлені закономірності розтріскування асфальтобетону, виявлено характер впливу часу дії і режиму навантаження на деформаційні і міцнісні характеристики асфальтобетону.

Ключові слова: тріщиностійкість, асфальтобетонні шари, термореологічні характеристики, час дії навантаження, напружено-деформований стан, граничний стан, термореологічна чутливість, довговічність.

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СЛОЕВ ГОРОДСКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

В. В. Мозговой, А. Н. Бесараб, А. А. Жуков, А. Н. Онищенко

*Национальный транспортный университет,
ул. Суворова, 1, г. Киев, Украина, 01010.*

Получена 12 июня 2006; принята 17 июля 2006.

Аннотация. Разработана классификация условий нагружения асфальтобетонных слоев и выделены характерные участки. Обоснована и разработана методика определения горизонтальных растягивающих напряжений, которые могут вызвать их растрескивание при одноразовом или многократном приложении нагрузки в зависимости от длительности действия нагрузки. Сформулированы условия предельного состояния, которые описывают растрескивание асфальтобетонных слоев при разных режимах и времени действия нагрузки. Получены аналитические зависимости для оценки влияния поверхностных горизонтальных растягивающих напряжений на трещиностойкость асфальтобетонных слоев дорожной одежды. На основе лабораторных исследований подтверждена достоверность теоретических положений и установлены закономерности растрескивания асфальтобетона, выявлен характер влияния времени действия и режима нагрузки на деформационные и прочностные характеристики асфальтобетона.

Ключевые слова: трещиностойкость, асфальтобетонные слои, термореологические характеристики, время действия нагрузки, напряженно-деформированное состояние, предельное состояние, термореологическая чувствительность, долговечность.

INCREASE OF FIRMNESS FROM THE CRACKS OF ASPHALT-CONCRETE LAYERS OF CITY TRAVELLING CLOTHES

V. V. Mozgovyi, O. N. Besarab, O. O. Zhukov, A. N. Onishchenko

*National Transport University,
Suvorov Street, 1, Kyiv, Ukraine, 01010.*

Received June 12, 2006; accepted July 17, 2006.

Abstract. The thesis has been devoted to the development of the calculation method for crack resistance of asphalt-concrete layers with regard to load action time. The classification of load conditions according to typical sections is developed. The method for determining horizontal stretching stresses depending on load action time, that can cause asphalt-concrete layers cracking on single or multiple load applications has been motivated and developed. The boundary state conditions describing asphalt-concrete layer cracking at different time and load operation are formulated. Theoretical and experimental studies have shown the regularities of crack resistance of asphalt-concrete layers due to the influence of transport, climatic, constructive, material and technological factor. The possibility of increasing crack resistance of asphalt-concrete layers due to rational targeting of pavement construction and the use of modern material and technological approaches has been proved. The results of practical tests are given.

Key words: crack resistance, asphalt-concrete layers, thermal and rheological characteristic, load action time, stressed and deformed state, boundary state, thermal and rheological sensitivity and asphalt-concrete longevity.

Введение. На улицах и дорогах с твердым покрытием преобладают нежесткие дорожные одежды с асфальтобетонными слоями, которые нередко под действием транспортной нагрузки достаточно быстро разрушаются и требуют преждевременных ремонтов. Разрушения проявляются в разной степени в зависимости от режима и характера нагрузки. Достаточно распространены являются разрушения в виде трещин. За последнее десятилетие изучению трещиностойкости асфальтобетонных слоев при нагрузке было посвящено много научных трудов отечественных и зарубежных ученых. На основании проведенных исследований создан аналитическо-расчетный аппарат, позволяющий выполнять расчеты напряженно-деформированного состояния слоев дорожной одежды при оценке их трещиностойкости. Однако напряженно-деформированное предельное состояние конструкции дорожной одежды в значительной мере зависят от термореологических свойств материалов дорожной одежды и грунта земляного полотна, что не учитывается при расчетах дорожной одежды. Кроме того, выполненные исследования носят разрозненный характер, что на данный момент не позво-

ляет на единой методологической основе разработать комплексный метод расчета асфальтобетонных слоев городских дорожных одежд на трещиностойкость с учетом одновременно действия таких факторов: время действия нагрузки изменяется от тысячных долей секунды (участки магистралей с высокими расчетными скоростями) до нескольких часов и больше (стоянки, остановки) и существенно отличается по полосам движения, на подъемах, на перекрестках, на городских и внегородских дорогах; частота и последовательность нагрузок, разнообразное сочетание режимов нагрузки; учет фактических термореологических характеристик асфальтобетона; разный режим и характер нагрузки по длине и ширине автомобильной дороги; учет растягивающих напряжений, возникающих на поверхности асфальтобетонных слоев и др.

В статье рассматривается метод расчета асфальтобетонных слоев нежесткой дорожной одежды на трещиностойкость с учетом времени действия нагрузки от транспортных средств.

Основные теоретические положения. Для оценки трещиностойкости асфальтобетонных слоев предложена классификация участков по

длине улицы или дороги с характерными комбинациями времени действия нагрузки транспортных средств (табл. 1).

Определение напряжений в слоистом вязкоупругом полупространстве при движении транспортных средств является одним из основных факторов для оценки его трещиностойкости.

Одним из первых, кто полностью решил задачу определения тензора напряжений слоистого вязко-упругого полупространства, был проф. Б. С. Радовский. Он рассмотрел задачу определения напряжений и перемещений в нежесткой дорожной одежде в слоистом вязкоупругом безинерционном полупространстве с произвольным конечным числом изотропных и однородных слоев. В результате была получена зависимость для определения горизонтальных нормальных растягивающих напряжений i -го слоя многослойного вязко-упругого безинерционного полупространства [1].

Но использование данной зависимости для определения растягивающих нормальных напряжений является достаточно проблематичным ввиду громоздкости формулы, что практически исключает возможность широкого использования ее для инженерных расчетов. Поэтому, было предложено использование квазиупругого метода аппроксимации при использовании точного решения для определения напряжений в упругом полупространстве. В квазиупругом методе вязко-упругое решение вы-

ходит из упругого решения заменой всех упругих характеристик материала соответствующими функциями релаксаций и функциями ползучести [1, 2]. Поэтому, в нашем случае, было предложено использование точного решения теории упругости для многослойного полупространства, полученное проф. А. К. Приварниковым [3]. Используя данный метод, было исследовано напряженно-деформированное состояние многослойного полупространства, были найдены и аппроксимированные функции для определения горизонтальных нормальных растягивающих напряжений (рис. 1) на подошве асфальтобетонного слоя

$$\Gamma_{\text{ун}} = A(t, T) y^3 + B(t, T) y^2 + C(t, T) y + D(t, T), (1)$$

и на поверхности асфальтобетонного слоя:

$$\Gamma_{\text{уп}} = A_1(t, T) y^3 + B_1(t, T) y^2 + C_1(t, T) y + D_1(t, T), (2)$$

где

$A(t, T), B(t, T), C(t, T), D(t, T), A_1(t, T), B_1(t, T), C_1(t, T), D_1(t, T)$ – постоянные, зависящие от времени действия нагрузки и температуры.

При этом был уточнен подход к установлению реального времени действия нагрузки t_i^H от транспортных средств на асфальтобетонные и другие слои дорожной одежды (рис. 2) на расчетные характеристики слоев (модуль упругости (E_i)):

$$t_i^H = \frac{D_i(z)}{V}, \quad D_i(z) = f(E_i(t_i^H)), (3)$$

где

V — скорость движения расчетного транспортного средства.

Таблица 1. Комбинации времени действия нагрузки для характерных участков

Участок непрерывного движения (ДБ)	Участок торможения (ДГ)	Участок остановки (ДЗ)	Участок разгона (ДР)
t_0^H – время действия нагрузки при непрерывном движении транспортных средств	t_0^H – время действия нагрузки при непрерывном движении транспортных средств; t_2^H – время действия нагрузки от транспортных средств, которые тормозят, но не останавливаются	t_0^H – время действия нагрузки при непрерывном движении транспортных средств; t_2^H – время действия нагрузки от транспортных средств, которые тормозят, но не останавливаются; t_3^H – время действия нагрузки при остановке движения транспортных средств; t_p^H – время действия нагрузки от транспортных средств, которые разгоняются	t_0^H – время действия нагрузки при непрерывном движении транспортных средств; t_p^H – время действия нагрузки от транспортных средств, которые набирают разгон

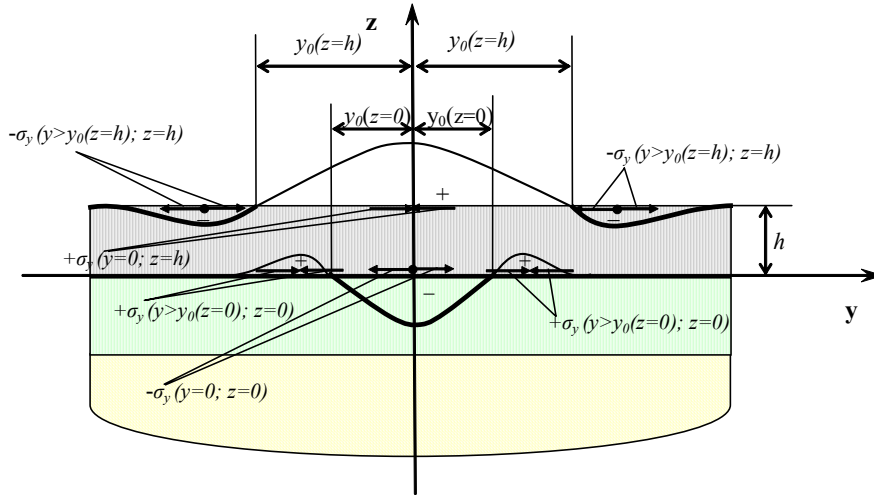


Рис. 1. Характер эпюр горизонтальных нормальных напряжений на поверхности и подошве асфальтобетонного слоя при действии транспортной нагрузки

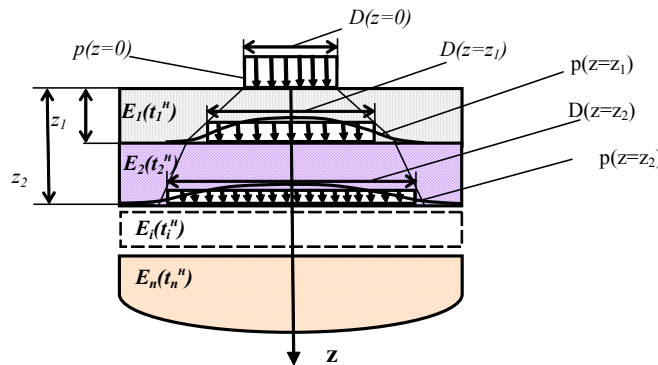


Рис. 2. Расчетная схема для определения времени действия нагрузки от транспортных средств на асфальтобетонные слои дорожной одежды

Для оценки предельного состояния асфальтобетонных слоев относительно трещиностойкости, на основании положений кинетической теории прочности твердых тел, были обоснованы условия предельного состояния и функции долговечности [1, 2, 4]

$$M \leq k_{кл} \cdot k_{см} \cdot C_{мп}, \quad (4)$$

где

M – мера опасности растрескивания асфальтобетонного слоя;

$C_{мп}$ – предельное значение показателя трещиностойкости асфальтобетона (устанавливается экспериментально);

$k_{кл}, k_{см}$ – коэффициенты, отображающие соответственно влияние климатических факторов и старения на значение $C_{мп}$ асфальтобетона.

Для определения меры опасности растрескивания асфальтобетонных слоев при разных режимах и времени действия нагрузки предложены зависимости:

- при произвольном режиме изменения $\sigma(t^n)$

$$M = \int_0^{t_p} \frac{dt}{10^{a_e + b_e \frac{1}{T} + r_e} e^{\frac{D_e}{T}} \cdot (A(t, T)y^3 + B(t, T)y^2 + C(t, T)y + D(t, T))^{-(A_e + B_e \frac{1}{T} + C_e e^{\frac{D_e}{T}})}}, \quad (5)$$

где

$A_{\sigma}, B_{\sigma}, C_{\sigma}, D_{\sigma}, a_{\sigma}, \sigma_{\sigma}, r_{\sigma}, r_{\sigma}$ – постоянные, которые определяют по результатам испытаний на длительную прочность при разных температурах и нагрузках;
-при циклическом изменении $\sigma(t^H)$

$$M = d_1 + d_2 + \dots + d_k, \quad (6)$$

где

d_1, d_2, d_k – поврежденность соответственно от первого, второго, k -го цикла приложенных нагрузок;

-при постоянной скорости роста нагрузки $V_f = \text{const}$

$$M = \int_0^{t_p} \frac{dt}{10^{a_{\sigma} + \sigma_{\sigma} \frac{1}{T'} + r_{\sigma} e^{\frac{\rho_{\sigma}}{T'}}} \cdot (V_{\sigma} t)^{-(A_{\sigma} + B_{\sigma} \frac{1}{T'} + C_{\sigma} e^{\frac{D_{\sigma}}{T'}})}; \quad (7)$$

-при постоянной скорости роста деформации $V_{\mu} = \text{const}$

$$M = \int_0^{t_p} \frac{10^{-\left(a_{\sigma} + \sigma_{\sigma} \frac{1}{T'} + r_{\sigma} e^{\frac{\rho_{\sigma}}{T'}}\right)} dt}{\left(HV_{\varepsilon} t + (B - H) V_{\varepsilon} \int_0^t \left(1 + \frac{te^{p(T-Q)}}{r} - \frac{\tau e^{p(T-Q)}}{r} \right)^{-m} d\tau \right)^{-(A_{\sigma} + B_{\sigma} \frac{1}{T'} + C_{\sigma} e^{\frac{D_{\sigma}}{T'}})} \quad (8)$$

где

m, r, H, B – параметры функции релаксации, которые определяются экспериментально.

Для установленной классификации (табл. 1) разработано условие предельного состояния относительно трещиностойкости при комбинируемой нагрузке [4]

$$M_{i,\alpha} = \sum_{\alpha=1}^{\beta} \sum_{j=1}^{m_i} \frac{n_j}{N_j^p} \leq k_{кл} \cdot k_{см} \cdot C_{mp}, \quad (9)$$

где

$M_{i,\pm}$ – мера опасности растрескивания асфальтобетонного слоя, которая рассматривается при i -той комбинации \pm -го периода года;

n_j – количество приложений нагрузок σ_j -тым временем действия нагрузки;

Таблица 2. Группы дорожно-строительных материалов по терморезологической чувствительности (ТРЧ)

Виды дорожно-строительных материалов по группам ТРЧ			
I (высокочувствительные)	II (чувствительные)	III (менее чувствительные)	IV (низкочувствительные)
Асфальтобетоны и дегтебетоны всех типов и видов, органо-минеральные смеси и др.	Глинистые и пылеватые грунты земляного полотна, щебень и гравий, обработанный органическими вяжущими и др.	Щебень, гравий, песок, необработанный или обработанный неорганическими вяжущими в количестве менее 5%, песчаные и супесчаные грунты земляного полотна и др.	Материалы, обработанные неорганическими вяжущими в количестве более 5%, тощий цементобетон и др.

N_j^p – предельное значение количества приложенных нагрузок для асфальтобетонного слоя при j -том времени действия нагрузки i -той комбинации;

m_i – количество вариантов разного времени нагрузки в i -той комбинации.

При определении N_j^p для каждого из характерных участков (табл. 1) использовалась функция длительной прочности $t_p^*(\sigma, T)$ в виде модифицированной степенной зависимости Г. М. Бартенева и условие предельного состояния в виде критерия Бейли, которые отображают термореологическое поведение асфальтобетона при его разрушении. Так, например, для участка ДЗ зависимость для определения N_p имеет вид

где

$$N^p = \left[\begin{array}{l} m_6 \cdot t_6^h B_\tau(T)^{-1} \sigma(t_6^h)^{e_\tau(T)} + \\ + m_2 \cdot t_2^h B_\tau(T)^{-1} \sigma(t_2^h)^{e_\tau(T)} + \\ + m_3 \cdot t_3^h B_\tau(T)^{-1} \sigma(t_3^h)^{e_\tau(T)} + \\ + m_p \cdot t_p^h B_\tau(T)^{-1} \sigma(t_p^h)^{e_\tau(T)} \end{array} \right]^{-1}, \quad (10)$$

m_6, m_2, m_3, m_p соответственно (в случае расположения ДЗ в зоне светофора) доля транспортных средств с непрерывным движением, тормозящих, остановившихся и разгоняющихся.

Влияние факторов на трещиностойкость асфальтобетонных слоев городских дорожных одежд. Влияние разных факторов оценивали посредством анализа напряженного и предельного состояний асфальтобетонных слоев на основе полученных аналитических зависимостей с использованием данных о термореологических характеристиках материалов.

При выполнении числового анализа учитывали разную термореологическую чувствительность (ТРЧ) дорожно-строительных материалов нежесткой дорожной одежды, то есть разную степень изменения модуля упругости при изменении времени действия нагрузки и температуры. Для этого предложено выделить четыре группы дорожно-строительных материалов по их ТРЧ (табл. 2).

Результаты определения напряженно-деформированного состояния и количества про-

ездов расчетного автомобиля до разрушения для равнопрочных (по [5]) конструкций дорожных одежд приведены на рис. 3–рис. 5 (конструкция дорожной одежды № 1 с основанием, содержащим материалы I и II групп ТРЧ, конструкция дорожной одежды № 2 с основанием, содержащим материалы III и IV групп ТРЧ). Они свидетельствуют, что использование в основаниях менее реологично чувствительных цементосодержащих материалов значительно улучшает долговечность дорожной одежды.

Причем, с увеличением толщины основания h_2 в конструкциях дорожных одежд №1 и №2 увеличивается долговечность. В то же время, с увеличением длительности действия нагрузки, в первом случае (рис. 5, а) от 0,1 с до 100 с долговечность уменьшается более чем в 10 раз, а во втором случае (при применении в основании материалов III и IV групп ТРЧ, рис. 5, б) долговечность при времени действия нагрузки 1-10 с сначала падает в 3-6 раз по сравнению с 0,1 с, а затем наблюдается обратная картина: при 100 с это уменьшение составляет до 2 раз.

Детальное изучение влияния климатического и транспортного факторов на напряженное состояние асфальтобетонных слоев выявило определенные особенности изменения горизонтальных нормальных растягивающих напряже-

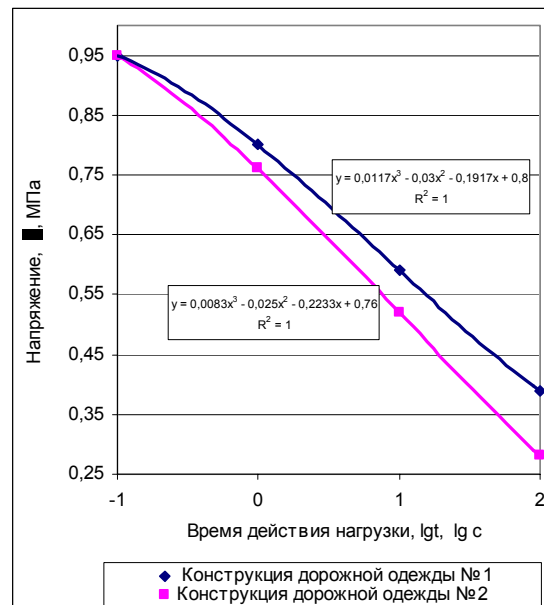


Рис. 3. Растягивающие напряжения в асфальтобетонных слоях

ний, которые возникают на подошве σ_n и на поверхности σ_s . Для конструкции дорожной одежды № 1 отмечены следующие закономерности: с увеличением времени действия нагрузки при разных температурах наблюдается тенденция изменения σ_n ; наблюдается пропорци-

ональное увеличение этих напряжений с увеличением интенсивности нагрузки p . Причем, σ_n в большей мере зависит от p при малом времени действия нагрузки, чем при большом, также σ_n уменьшается при увеличении температуры. Например, при $t_n = 0,1c$ $\sigma_n(p=0,75)/\sigma_n(p=0,6) = 1,3$, а при $t_n = 100c$ $\sigma_n(p=0,75)/\sigma_n(p=0,6) = 1,2$. При $T = 20^\circ C$ эти показатели должны были отвечать значению 1,4; 1,05. Несколько иную закономерность изменения имеют σ_s . При температуре $0^\circ C$ наблюдается уменьшение σ_s при изменении t_n от 0,1 до 10 с, а потом σ_s возрастает. При температуре $+10^\circ C$ изменения σ_s характеризуются более явным минимумом при $t_n = 10$ с и тенденцией большего возрастания со следующим временем действия нагрузки. При температуре $+20^\circ C$ наблюдается непрерывное возрастание σ_s с увеличением действия нагрузки от 0,1 до 100с. В зависимости от интенсивности нагрузки σ_s также увеличивается с его возрастанием и особенности этого изменения почти не зависят от времени действия нагрузки и температуры. То есть, действие транспортных большегрузных средств с увеличением времени действия нагрузки и температуры имеет большее влияние на поверхности, чем на подошве.

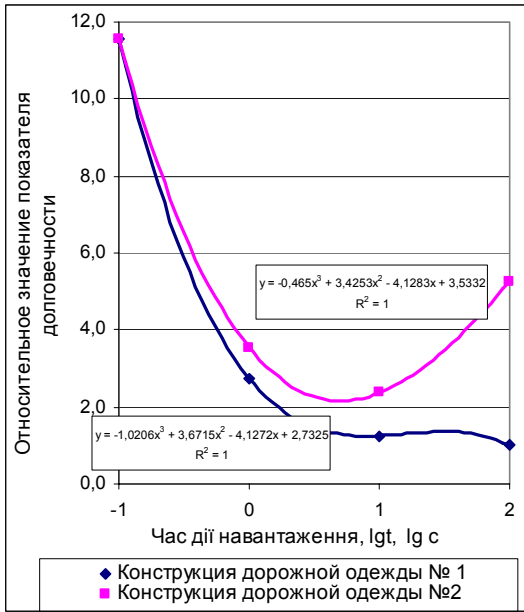


Рис. 4. Долговечность асфальтобетонных слоев

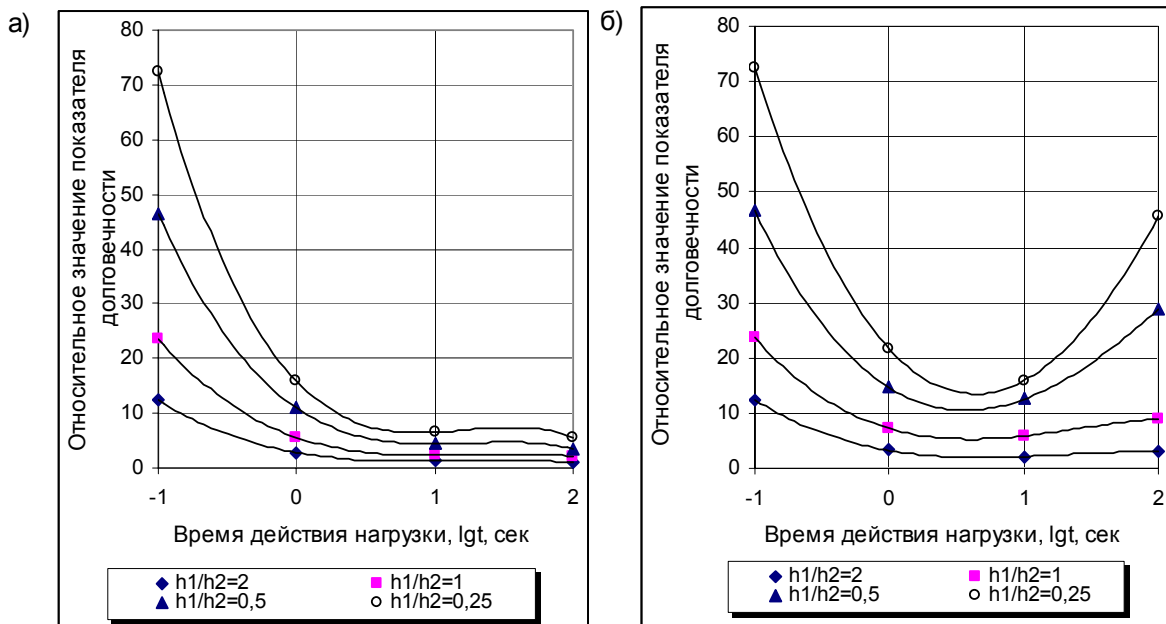


Рис. 5. Зависимость долговечности асфальтобетонных слоев в зависимости от соотношения толщин покрытия и основы: а — конструкция дорожной одежды № 1; б — конструкция дорожной одежды № 2

Для конструкций дорожной одежды № 2 прослеживаются другие закономерности изменения σ_n . При $T=0^\circ\text{C}$ σ_n также уменьшается при уменьшении времени действия нагрузки аналогично предыдущему анализу. Для $T=+10^\circ\text{C}$ при времени действия нагрузки $> 10\text{с}$ горизонтальные растягивающие напряжения σ_n исчезают, а при $T=+20^\circ\text{C}$ они вообще отсутствуют. По сравнению с конструкцией №1, конструкция № 2 более выигрышная относительно трещиностойкости асфальтобетонных слоев при действии σ_n . Изменение σ_g при разных температурах с увеличением времени действия нагрузки имеет постоянную тенденцию уменьшения растягивающих напряжений. Причем, темпы изменения уменьшаются с увеличением температуры. Зависимость этих σ_g от p остается одинаковой при разной температуре и времени действия нагрузки в отличие от σ_n , для которых зависимость от p уменьшается с увеличением времени действия нагрузки и температуры.

Обращает также на себя внимание и то, что поверхностные растягивающие напряжения σ_g увеличивают свое влияние на возможность образования трещин для рассмотренных вариантов конструкций с увеличением времени действия нагрузки и температуры.

Полученные результаты анализа влияния поверхностных растягивающих напряжений на трещиностойкость асфальтобетонных слоев объясняют причины возникновения трещин от усталости на некотором расстоянии от полосы наката, а особенно на перекрестках и остановках общественного транспорта.

Выводы

1. В работе установлены аналитические зависимости для определения напряженного состояния асфальтобетонных слоев и оценки их предельного состояния по трещиностойкости с учетом: времени действия нагрузки; дифференциации условий работы по характеру нагрузки; характера распределения колес транспортных средств по ширине полосы движения; наличия горизонтальных ра-

стягивающих напряжений на поверхности слоя; климатических, конструктивно-материаловедческо-технологических и транспортных факторов.

2. Получены результаты числового анализа влияния транспортных, климатических и конструктивно-материаловедческо-технологических факторов. На основе предложенной классификации по термореологической чувствительности дорожно-строительные материалы разделены на группы: высокочувствительные, чувствительные, умеренночувствительные, низкочувствительные.

Показано, что использование в основаниях менее реологически чувствительных цементосодержащих материалов значительно улучшает долговечность дорожной одежды. Выявлены особенности изменения горизонтальных нормальных растягивающих напряжений, возникающих на подошве и на поверхности асфальтобетонных слоев для конструкции дорожной одежды с разной термореологической чувствительностью.

Литература

1. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок: Дис. ... докт. техн. наук: 05.23.03. - К., 1982. - 552 с.
2. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 - К., 1996 - 406 с.
3. Приварников А.К., Радовский Б.С. Влияние вязко-упругих свойств и инерционных сил на поведение дорожной одежды под действием подвижной нагрузки.- Известия Вузов. Строительство и архитектура. 1980, №3, с.105-111.
4. Бесараб О.М.. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. - К., 2003. - 252 с.
5. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу - К., Укравтодор, 2004. - 176 с.

Мозговий Володимир Васильович — д.т.н., професор, завідувач кафедри "Дорожньо-будівельних матеріалів і хімія" Київського Національного транспортного університету.

Бесараб Олександр Миколайович — к.т.н., доцент кафедри "Дорожньо-будівельні матеріали і хімія" Київського Національного транспортного університету.

Жуков Олександр Олександрович — інженер комунальної корпорації "Київавтодор".

Онищенко Артур Миколайович — інженер кафедри "Дорожньо-будівельні матеріали і хімія" Київського Національного транспортного університету.

Мозговой Владимир Васильевич — д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Дорожно-строительные материалы и химия" Киевского Национального транспортного университета.

Бесараб Александр Николаевич — к.т.н., доцент кафедры "Дорожно-строительные материалы и химия" Киевского Национального транспортного университета.

Жуков Александр Александрович — инженер коммунальной корпорации "Киевавтодор".

Онищенко Артур Николаевич — инженер кафедры "Дорожно-строительные материалы и химия" Киевского Национального транспортного университета.

Mozgovyi Volodymyr Vasyliovych — Dr.Sc., Professor, the Head of Department of road-building materials and Chemistry Kyiv National Transport University.

Besarab Oleksandr Mykolayovych — Ph. D., Associate Professor of Department of road-building materials and Chemistry Kyiv National Transport University.

Zhukov Oleksandr Oleksandrovych — Engineer of Municipal corporation "Kyivavtodor".

Onyshchenco Artur Mykolayovych — Engineer of Department of road-building materials and Chemistry Kyiv National Transport University.