

УДК 625.7/8

А.Н. Онищенко, А.С. Ризниченко

Национальный транспортный университет, Киев, Украина

МЕТОД РАСЧЕТА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Современные методы расчета предлагают оценивать трещиностойкость лишь нежестких дорожных одежд. В то же время условия работы асфальтобетонного покрытия на мостовых сооружениях сильно отличаются, например, концентрацией напряжений между асфальтобетонным покрытием и основанием (плитой), различными реологическими характеристиками материалов. Среди общего количества мостовых сооружений более 90 % составляют железобетонные.

В статье рассматривается одна из причин преждевременного ремонта асфальтобетонного покрытия на железобетонных мостовых сооружениях – возникновение трещин. Приведены расчетные характеристики асфальтобетонов, необходимые для расчета на растяжение при изгибе. Предложен метод расчета трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на железобетонных мостовых сооружениях на стадии проектирования, который учитывает необходимую прочность при изгибе монолитных слоев дорожных одежд, а также время воздействия движущейся нагрузки.

Разработана номограмма для определения растягивающих напряжений и представлен пример алгоритма расчета конструкции дорожной одежды по критерию трещиностойкости. Условие предельного состояния установлено на основании кинетической теории прочности. Используя данный метод расчета, можно определить необходимую толщину покрытия и выбрать материалы с соответствующими деформационными, прочностными характеристиками с точки зрения обеспечения трещиностойкости.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, трещиностойкость, железобетонное основание, прочность при изгибе, мостовые сооружения, динамическая нагрузка, гидроизоляционный материал.

A.N. Onishchenko, A.S. Riznichenko

National Transport University, Kiev, Ukraine

THE METHOD OF CALCULATING THE CRACK RESISTANCE OF ASPHALT PAVEMENT ON THE CONCRETE BRIDGE STRUCTURES

The modern methods of calculation to estimate fracture offer only non-rigid road surfacing at the same time, the working conditions of asphalt pavement on the bridge structures are very different, for example, the concentration of stresses between the asphalt and the base (plate), different rheological properties of materials. Among the total number of bridges more than 90 % of reinforced concrete.

The article deals with one of the causes of premature repair of asphalt concrete pavement on concrete bridge structures – cracks. Given the design characteristics of asphalt needed to calculate the tensile bending. A method for calculating the crack resistance of asphalt concrete pavement on concrete bridge structures at the design stage, which takes into account the necessary flexural strength of monolithic pavement layers, as well as the exposure of the moving load.

Developed a graph for determining the tensile stress and is an example of the algorithm for calculating pavement structure on the criterion of fracture toughness. Conditions limiting state is determined based on the kinetic theory of strength. Using this method of calculation can determine the required coating thickness and choose the materials with the corresponding deformation, strength characteristics in terms of fracture toughness.

Keywords: asphalt pavement, crack resistance, concrete base, flexural strength, bridge construction, dynamic load, waterproofing material

1. Постановка проблемы

Транспортные сооружения являются кровеносными артериями страны, которые должны обеспечивать постоянный транзит автомобильного транспорта. Дорожное покрытие на транспортных сооружениях находится в сложных эксплуатационных условиях, прежде всего из-за концентрации напряжений между асфальтобетонным покрытием и жесткой основой, поскольку в нежесткой дорожной одежде напряжения воспринимает земляное полотно, а на мостах – непосредственно жесткое основание, кроме того, асфальтобетон на транспортных сооружениях быстрее охлаждается и нагревается. Эти и другие факторы предъявляют повышенные требования к конструкции дорожной одежды на транспортных сооружениях, прежде всего к его трещиностойкости [1].

2. Анализ последних исследований и публикаций

В результате анализа методов и критериев оценки трещиностойкости асфальтобетонного покрытия от воздействия транспортных средств при изменении температуры установлено, что имеющиеся исследования носят разрозненный, частичный характер, кроме того, они учитывают в основном расчет нежесткой дорожной одежды [2, 3]. Многие исследователи предлагают оценивать трещиностойкость асфальтобетона на основании различных испытаний на растяжение, используя при этом разные критерии трещиностойкости [4–10].

Отсутствие научно обоснованной методики расчета на трещиностойкость асфальтобетонного покрытия часто становится причиной преждевременного образования трещин и, как следствие, снижения долговечности транспортных сооружений, что, в свою очередь, приводит к значительным экономическим убыткам. Это свидетельствует о необходимости разработки методики расчета на трещиностойкость асфальтобетонного покрытия на мостовых сооружениях с более полным учетом особенностей его работы на транспортных сооружениях автомобильных дорог.

3. Изложение основного материала

На этапе проектирования и строительства асфальтобетонного покрытия на транспортных сооружениях необходимо соблюдать все основные принципы и правила¹ для обеспечения нормативного срока службы покрытия. Поэтому целью работы является повышение долговечности асфальтобетонного покрытия транспортных сооружений автомобильных дорог благодаря совершенствованию методики его расчета на трещиностойкость от действия транспортных средств. Среди существующих транспортных сооружений наиболее распространены железобетонные, общее количество которых превышает 90 % [11].

Более современное проектирование асфальтобетонного покрытия на транспортных сооружениях состоит в уточнении правил конструирования и методики их расчета. При этом учитывается многократное действие кратковременных и статических нагрузок. Задачей расчета асфальтобетонного покрытия повышенной трещиностойкости является определение необходимой толщины в проектных вариантах конструкции или выбор материалов с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданной толщине.

Расчет прочности асфальтобетонного покрытия выполняют по допустимому напряжению на растяжение при изгибе.

Асфальтобетонное покрытие на транспортных сооружениях, эксплуатируемых на различных категориях автомобильных дорог, рассчитывают на многократное и кратковременное действие подвижных нагрузок. При этом необходимо учитывать риск заторов при снижении пропускной способности транспортного сооружения. Время действия загрузки соответственно нужно принимать согласно табл. 1.

Асфальтобетонное покрытие на транспортных сооружениях автомобильных дорог согласно табл. 1 должно быть дополнительно проверено на прочность при изгибе и на повторное многократное комбинированное действие кратковременной и статической нагрузки с продолжительностью действия 10 с. При проектировании асфальтобетонного покрытия в зависимости от категории дороги, капитальности дорожной одежды назначают допустимый (требуемый) коэффициент надежно-

¹ Альбом «Типові конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям проїзної частини залізобетонних мостів та шляхопроводів». К.: 2003; МВ 218-02070915-679:2010. Методичні вказівки з розрахунку асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість / Укравтодор. Київ, 2010.

сти K_n (табл. 2), в соответствии с которым выбирают минимальное значение коэффициента запаса прочности $K_{пр}$. К концу срока службы между капитальными ремонтами значение $K_{пр}$ не должно быть ниже выбранного согласно табл. 2 значения. При коэффициенте надежности, отличном от указанных в табл. 2 значений, минимальный коэффициент прочности $K_{пр}$ асфальтобетонного покрытия транспортных сооружений следует принимать по графику².

Таблица 1

Расчетные значения продолжительности и кратковременного приложения нагрузки при расчете асфальтобетонного покрытия на транспортных сооружениях автомобильных дорог

Типичные комбинации режимов транспортной нагрузки на покрытие транспортных сооружений	Автомобильные дороги	Уровень загрузки движением	Расчетная продолжительность и кратковременность приложения нагрузки t, c
Автомобильные дороги общего пользования	1 – государственного значения	не более 0,7	0,1 – многократно
	2 – местного значения	не более 0,7	0,1 – многократно
		более 0,7	1,0 – многократно
Категория улицы и дороги	3 – городские улицы и дороги	не более 0,7	0,1 – многократно
		более 0,7	1,0 – многократно
			10 – многократно
Остановки экстренные и во время пробок			10 – многократно

Таблица 2

Значение расчетного коэффициента запаса прочности при соответствующей категории дороги

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Коэффициент надежности K_n	Коэффициент запаса прочности $K_{пр}$ по критерию предельного состояния (сгиба монолитных слоев)
Ia	Капитальный	0,97	1,39
Iб–II	Капитальный	0,95	1,35
III	Капитальный	0,90	1,29
IV	Облегченный	0,85	1,27
V	Переходный	0,75	1,19

² ВБН В.2.3-218-186–2004. Споруди транспорту. Дорожний одяг нежорсткого типу.

Для расчета асфальтобетонного покрытия на железобетонных транспортных сооружениях принимаем следующий вариант конструкции, которая широко применяется на практике³. Она состоит из одного слоя (или двух) асфальтобетонного покрытия, эластичного слоя (из полимербитумного вяжущего) и железобетонной монолитной основы, которые прочно сцеплены между собой.

Для определения растягивающих напряжений в асфальтобетонном покрытии на транспортных сооружениях предлагается номограмма (рисунок), которая была получена с помощью точного решения программы «Алгофорт» А.К. Приварникова. Такая программа дает возможность производить расчеты с необходимой точностью и согласуется с результатами расчетов по номограмме⁴.

Для расчета трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на транспортном сооружении условие предельного состояния можно записать на основе кинетической теории прочности твердых тел:

$$\overline{\sigma}_r = K_{\text{пр}} \cdot \sigma_r \cdot p \cdot K_{\text{б}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (1)$$

где p – расчетное давление на покрытие, МПа (по ВБН В.2.3.-218-186–2004); $K_{\text{б}}$ – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия под колесом автомобиля со спаренными баллонами. Как правило, $K_{\text{б}} = 0,85$, но при расчете покрытия на особые нагрузки (колесо с одним баллоном) $K_{\text{б}} = 1,0$; $K_{\text{д}}$ – коэффициент динамичности, учитывающий нагрузки во время движения, принимается равным 1,0.

Асфальтобетонное покрытие на железобетонном транспортном сооружении предлагается рассчитывать в следующей последовательности. Для однослойного покрытия принимается модуль упругости слоя h_1 по табл. 3, а для двухслойного по формуле (2) нужно вычислить средний модуль упругости слоев h_1, h_2 . Затем находят средний модуль упругости асфальтобетонного покрытия с учетом гидроизоляционного материала.

³ Альбом «Типові конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям проїзної частини залізобетонних мостів та шляхопроводів». К., 2003.

⁴ ВБН В.2.3-218-186–2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.

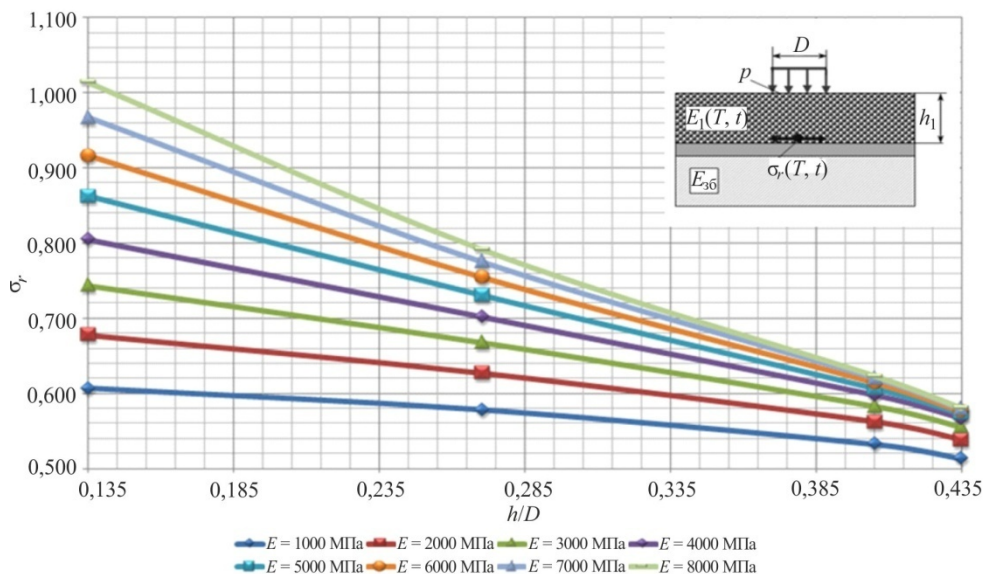


Рис. 1. Номограмма для определения горизонтальных растягивающих напряжений при изгибе между асфальтобетонным покрытием и железобетонной основой и расчетная схема работы асфальтобетонного покрытия на транспортном сооружении: $E_1(T, t)$ – модуль упругости асфальтобетонного слоя, который зависит от температуры (T) и времени действия нагрузки (t); h – толщина слоя, см; $\sigma_r(T, t)$ – наибольшее напряжение растяжения в рассматриваемом слое, устанавливается по номограмме; p – расчетное давление на покрытие, равное 1 МПа; D – диаметр нагруженной площади, см

Средний модуль упругости асфальтобетонного покрытия рассчитывают по формуле

$$E_B = \sum_{i=1}^n E_i h_i \div \sum_{i=1}^n h_i, \quad (2)$$

где n – количество слоев дорожной одежды; E_i – модуль упругости i -го слоя; h_i – толщина i -го слоя.

Расчетные модули упругости асфальтобетонов следует принимать при температуре +10 °С, с учетом продолжительности действия нагрузки по ВБН В.2.3-218-186–2004. Зная модуль упругости асфальтобетонного покрытия, по номограмме (см. рисунок) необходимо найти растягивающие напряжения $\sigma_r(T, t)$ в расчетном слое от разовой нагрузки, действующей на поверхности покрытия. Для этого с точки на верхней горизонтальной оси (соответствует отношению $\Sigma h_i/D$) следует провести вертикаль к кривой с известным модулем упругости E и оп-

ределить значение $\sigma_r(T, t)$. Расчетное значение $\overline{\sigma}_r$ находят по формуле (1). В то же время нужно учитывать, что при воздействии нагрузки 0,1 для расчета используется значение диаметра отпечатка колеса D_d , а при времени действия нагрузки 10 с необходимо использовать статическое значение диаметра отпечатка колеса $D_{ст}$.

Расчетные характеристики асфальтобетонов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики асфальтобетонов при расчете на растяжение при изгибе

Марка вяжущего	Расчетные значения модуля упругости E , МПа, при продолжительности действия загрузки t , с			Показатель усталости m	Нормативное значение прочности при изгибе $R_{лаб}$, МПа, при воздействии загрузки t , с		
	0,1	1,0	10,0		0,1	1,0	10,0
Плотный полимерасфальтобетон							
Термопласты	7000	4500	2600	7	14	7,81	5,64
Термоэластопласты	5500	3700	2300	6,5	12	7,45	5,24
Плотный асфальтобетон I-II марки							
БНД-40/60	6000	3160	1900	6,0	10	6,81	4,64
БНД-60/90	4500	2880	1800	5,5	9,8	6,45	4,24
БНД-90/130	3600	2510	1780	5,0	9,5	5,99	3,78

Выполняем проверку условия сопротивления при разрушении от растяжения при изгибе, поскольку возникающие горизонтальные нормальные напряжения при растяжении под действием повторных кратковременных нагрузок не должны превышать предельных в течение запроецированного срока службы, в противном случае это приводит к образованию трещин:

$$\overline{\sigma}_r < \frac{R_N^t}{K_{пр}}, \tag{3}$$

где R_N^t – прочность материала слоя на растяжение при изгибе при соответствующем времени действия нагрузки t , определяют по формуле

$$R_N^t = R^t \cdot k_1^{t \pm t_i} \cdot k_2 \cdot (1 - v_R \cdot t), \tag{4}$$

где $k_1^{t \pm t_i}$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие явлений усталости материала при многократном воздействии на-

грузки [12]; k_2 – коэффициент, учитывающий температурную трещи-
нотойкость материала [13]; v_R – коэффициент вариации прочности
при растяжении; t – коэффициент вариативного отклонения.

Коэффициент $k_1^{t \pm t_i}$, который отражает влияние на прочность раз-
личных процессов усталости, определяется по следующей формуле:

$$k_1^{t \pm t_i} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p^{t \pm t_i}}}, \quad (5)$$

где m – показатель степени, который зависит от свойств материала
расчетного монолитного слоя⁵; α – коэффициент, учитывающий разли-
цу между реальным и лабораторным режимом растяжения повторной
нагрузки, а также вероятность совпадения со временем; $\sum N_p^{t \pm t_i}$ – рас-
четное эквивалентное суммарное количество прикладываний расчет-
ной нагрузки со временем действия нагрузки как t , так и t_i , за весь срок
службы, определяется по формуле

$$\sum N_p^{t \pm t_i} = \delta_{t_i} \cdot \sum N_p \cdot \beta_{t \pm t_i} + (1 - \delta_{t_i}) \cdot \sum N_p, \quad (6)$$

где $\sum N_p$ – расчетная суммарное количество приложения расчетной
нагрузки за срок службы монолитного покрытия (по ВБН В.2.3-218-
186–2004); δ_{t_i} – доля от общего количества автомобилей в потоке, ко-
торые задерживаются; $\beta_{t \pm t_i}$ – коэффициент, предложенный проф.
В.В. Мозговым, который отражает влияние на усталость разрушения
расчетной нагрузки со временем действия t_i , определяется по формуле

$$\beta_{t \pm t_i} = \left(\frac{R_{10}^t \cdot \sigma_r^t}{R_{10}^{t_i} \cdot \sigma_r^{t_i}} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (7)$$

где R_{10}^t – нормативное значение предельного сопротивления растя-
жению при изгибе, расчетной температуре и времени действия на-
грузки t_i .

⁵ ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аерод-
ромний. Технічні умови.

Пример расчета. Рассмотрим следующую конструкцию дорожной одежды на железобетонной транспортной сооружении, запроектированную для автомобильной дороги I категории:

Щебеночно-мастичный асфальтобетон, с максимальной крупностью зерен 10 см, толщиной 5 см.

1. Асфальтобетон типа А толщиной 8 см.

2. Гидроизоляционный материал Testudo толщиной 0,5 см.

Согласно табл. 1 уровень загрузки составит не более 0,7, а длительность действия нагрузки будет равна 0,1 с.

По табл. 2 находим коэффициент запаса прочности конструкции дорожной одежды, который в данном случае составляет 1,35.

По данным табл. 3 определяем расчетный модуль упругости асфальтобетона; модуль упругости гидроизоляционного материала определяем на основе сопроводительной информации поставщика или экспериментальным путем.

Рассчитываем средний модуль упругости конструкции по формуле (2):

$$E_b = \frac{5500 \cdot 5 + 4500 \cdot 8 + 800 \cdot 0,5}{5 + 8 + 0,5} = 4733 \text{ МПа.}$$

Расчетные значения отпечатка колеса и расчетной нагрузки принимаются согласно [9].

По номограмме, приведенной на рис. 1, определяют горизонтальные растягивающие напряжения, в данном случае они будут равны 0,6 МПа.

Рассчитывают трещиностойкость асфальтобетонного покрытия на транспортном сооружении при условии предельного состояния (1):

$$\overline{\sigma}_r = 1,39 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 0,567 \approx 0,57 \text{ МПа.}$$

Находим прочность материала слоя на растяжение при изгибе, при соответствующем времени действия нагрузки:

$$R_N^t = 6,45 \cdot 0,21 \cdot 0,80 = 1,08 \text{ МПа.}$$

Выполняем проверку условия (3), сопротивления при разрушении от растяжения при изгибе:

$$0,57 < 0,78.$$

Проверяем выполнение условия по обеспечению необходимого коэффициента запаса прочности:

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{1,08}{0,57} = 1,89.$$

Полученное значение $K_{\text{пр}}$ больше необходимого (согласно ВБН В.2.3-218-186–2004). Представленная конструкция соответствует условию прочности на растяжение при изгибе.

Выводы

В результате анализа изменения горизонтальных растягивающих напряжений, возникающих на границе между асфальтобетонным покрытием и железобетонной основой, были установлены определенные закономерности. При соотношении h/D , равном 0,135, и изменении модуля упругости с 8000 до 1000 МПа сопротивление растягивающим напряжениям уменьшится на 40 %, а при $h/D = 0,335$ – на 22 %.

При рассмотрении варианта, когда общий модуль упругости асфальтобетона будет составлять 8000 МПа, а толщина покрытия 10 см, величина растягивающих напряжений для расчетной группы нагрузки А2 будет на 9 % больше, чем для группы Б, а при общем модуле упругости 4000 МПа и такой же толщине покрытия разница составит 7 %, при модуле упругости 1000 МПа – 3,5 %. Это свидетельствует о необходимости учитывать свойства материалов в зависимости от группы расчетной нагрузки.

Установлено, что существенное влияние на величину растягивающих напряжений на мостовых сооружениях оказывает толщина покрытия. Так, например, при группе нагрузки А2, общем модуле упругости покрытия 4000 МПа и изменении толщины покрытия с 14 до 7 см значение растягивающих напряжений возрастет на 18 %.

Полученные данные свидетельствуют о том, что повышения трещиностойкости, а следовательно, и долговечности асфальтобетонного покрытия можно достичь подбором конструкции дорожной одежды с соответствующей толщиной и модулем упругости. Имея определенные ограничения по толщине покрытия для транспортных сооружений, целесообразно выбирать асфальтобетон с большим модулем упругости.

Список литературы

1. Іщенко О.М. Розробка методики розрахунку на температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг: дис. ... канд. техн. наук. – Київ, 2003. – 136 с.
2. Бесараб О. М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження: дис. ... канд. техн. наук. – Київ, 2003. – 142 с.
3. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: дис. ... д-ра техн. наук. – Київ, 1996 – 406 с.
4. Khodary F. Longer fatigue life for asphalt pavement using (SBS@clay) nanocomposite // International journal of current engineering and technology. – 2015. – Vol. 5, no. 2. – URL: <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2015/03/Paper64949-954.pdf> (дата обращения: 29.09.2015).
5. Bonaquist R. Impact of mix design on asphalt pavement durability // Transportation Research Board. – 2014.
6. Christensen D., Bonaquist R. Evaluation of indirect tensile test (IDT) procedures for low-temperature performance of hot mix asphalt // Transportation Research Board. – 2004. – No. 530.
7. McDaniel R.S., Shah A., Huber G. Investigation of low- and high-temperature properties of plant-produced RAP mixtures // FHWA-HRT-11-058. FHWA, U.S. Department of Transportation. – 2012.
8. Ma L., Chen H., Zhang J. Research on crack resistance evaluation of asphalt mixture at low temperature // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 753–755. – P. 668–672. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.753-755.668
9. Николенко М.А., Бессчетнов Б.В. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 2. – URL: (<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/856>) (дата обращения: 29.09.2015).
10. Дурева А.Ю., Кузьмин В.В. Сдвигоустойчивость и трещиностойкость асфальтобетона дорожных покрытий в условиях Кемеровской области // Молодой ученый. – 2012. – № 3. – С. 35–37.
11. Коваль П.М. Характеристика технічного стану існуючих мостів України // Дороги і мости: зб. наук. ст. – Вип. 1. – Київ, 2003. – С. 15–22.

12. Методика та результати визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості асфальтобетону / А.М. Онищенко, В.Ф. Невінгловський, О.С. Різніченко, С.Ю. Аксьонов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2014. – № 91. – С. 84–88.

13. Підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонного покриття проїзної частини Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві / В.В. Мозговой, О.М. Бесараб, А.М. Онищенко [та ін.] // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. пр. – Львів, 2005. – С. 709–716.

References

1. Ishchenko O.M. Rozrobka metodiki rozrakhunku na temperaturnu trishchinostiikist' asfal'tobetonnoho pokrittia shtuchnikh sporud avtomobil'nikh dorog [Development of methods to calculate the temperature of asphalt pavement crack engineering structures highways]. Thesis of Ph.D.'s degree dissertation, Kiev, 2003. 136 p.

2. Besarab O.M. Pidvishchennia trishchinostiikosti asfal'tobetonnikh shariv z vrakhuvanniam chasu dii navantazhennia [Increased fracture asphalt layers taking into account the time of loading]. Thesis of Ph.D.'s degree dissertation, Kiev, 2003. 142 p.

3. Mozgovoi V.V. Nauchnye osnovy obespecheniia temperaturnoi treshchinostoikosti asfal'tobetonnykh pokrytii [Scientific bases of maintenance of temperature cracking resistance of asphalt concrete pavement]. Thesis of Doctor's degree dissertation, Kiev, 1996. 406 p.

4. Khodary F. Longer fatigue life for asphalt pavement using (SBS@clay) nanocomposite. *International journal of current engineering and technology*, 2015, vol. 5, no. 2, available at: <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2015/03/Paper64949-954.pdf> (accessed 29 September 2015).

5. Bonaquist R. Impact of mix design on asphalt pavement durability. *Transportation Research Board*, 2014.

6. Christensen D., Bonaquist R. Evaluation of indirect tensile test (IDT) procedures for low-temperature performance of hot mix asphalt. *Transportation Research Board*, 2004, no. 530.

7. McDaniel R.S., Shah A., Huber G. Investigation of low- and high-temperature properties of plant-produced RAP mixtures. *FHWA-HRT-11-058*. FHWA, U.S. Department of Transportation, 2012.

8. Ma L., Chen H., Zhang J. Research on crack resistance evaluation of asphalt mixture at low temperature. *Advanced Materials Research*, 2013,

vol. 753-755, pp. 668-672. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.753-755.668

9. Nikolenko M.A., Besschetnov B.V. Povyshenie dlitel'noi treshchinostoikosti asfal'tobetona dorozhnykh pokrytii [Improving long-term crack resistance of asphalt concrete pavements]. *Inzhenernyi vestnik Dona*, 2012, no. 2, available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/856> (accessed 29 September 2015).

10. Dureeva A.Iu., Kuz'min V.V. Sdvigoustoichivost' i treshchinstoikost' asfal'tobetona dorozhnykh pokrytii v usloviakh Kemerovskoi oblasti [Shift-resistance and crack resistance of asphalt concrete pavements in a Kemerovo region]. *Molodoi uchenyi*, 2012, no. 3, pp. 35-37.

11. Koval' P.M. Kharakteristika tekhnichnogo stanu isnuichikh mostiv Ukraïni [Characteristics of the technical condition of existing bridges Ukraine]. *Zbirnik naukovikh prats' "Dorogi i mosti"*, 2003, vol. 1, pp. 15-22.

12. Onishchenko A.M., Nevinglovs'kii V.F., Riznichenko O.S., Aks'onov S.Iu. Metodika ta rezul'tati viznachennia koefitsienta temperaturnoi trishchinostiikosti asfal'tobetonu. *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnitstvo*, 2014, no. 91, pp. 84-88.

13. Mozgovii V.V., Besarab O.M., Onishchenko A.M. [et al.] Pidvishchennia temperaturnoi trishchinostiikosti asfal'tobetonnoho pokryttia proïznoi chastini Pivdennoho mostovogo perekhodu cherez r. Dnipro v m. Kievi [Increasing the temperature of asphalt pavement crack Southern roadway bridge over the river Dnieper in Kiev]. *Zbirnik naukovikh prats': "Mekhanika i fizika ruinovannia budivel'nikh materialiv ta konstruktsii"*. L'viv, 2005, pp. 709-716.

Получено 29.09.2015

Об авторах

Онищенко Артур Николаевич (Киев, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Дорожно-строительные материалы и химии» Национального транспортного университета (01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, e-mail: artur_onish@bigmir.net).

Ризниченко Александр Сергеевич (Киев, Украина) – ассистент кафедры «Дорожно-строительные материалы и химии» Национального транспортного университета (01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, e-mail: aleksr87@mail.ru).

About the authors

Artur N. Onishchenko (Kiev, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Road Construction Materials and Chemistry, National Transport University (1, Suvorov st., Kiev, 01010, Ukraine, e-mail: artur_onish@bigmir.net).

Aleksandr S. Riznichenko (Kiev, Ukraine) – Assistant, Department of Road Construction Materials and Chemistry, National Transport University (1, Suvorov st., Kiev, 01010, Ukraine, e-mail: aleksr87@mail.ru).