

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 625.731.8 – 027.45

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-192-200

Р.П. МОИСЕЕНКО, Г.В. ПУШКАРЁВА, И.З. КУЦИЯ,

Томский государственный архитектурно-строительный университет

НАДЁЖНОСТЬ НЕЖЁСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПО МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ

В статье показано, что используемый в ОДН 218.046-01 и ПНСТ 265-2018 алгоритм расчёта нежёстких дорожных одежд на морозоустойчивость содержит ошибку. Анализ проведён на уровне теории вероятностей. Методом моментов решена задача надёжности дорожных одежд по критерию морозоустойчивости. Общий метод расчёта позволяет оценить частные варианты. Доказано, что алгоритм из ОДН и ПНСТ даёт результат с вероятностью $P = 0,5$. Такая вероятность не может быть приемлемой. Альтернативный вариант алгоритма представлен в виде полученного уравнения заданной надёжности по морозоустойчивости. Из этого уравнения при допускемой величине пучения и заданной вероятности $P = 0,95$ определяется расчётная величина пучения, которая всегда меньше допускемой величины. Известная величина пучения позволяет определить толщину морозозащитного слоя. Эта толщина значительно больше, чем толщина, определённая по алгоритму в ОДН и ПНСТ. Формально получается перерасход материала, но сравнение производится с вариантом, содержащим ошибку ($P = 0,5$). Следовательно, такое сравнение не может быть корректным. Рекомендовано заменить в действующих нормативных документах ОДН и ПНСТ существующий алгоритм на алгоритм, разработанный в данной статье.

Ключевые слова: заданная надёжность; морозоустойчивость; дорожная одежда; морозозащитный слой; пучение грунта.

Для цитирования: Моисеенко Р.П., Пушкарёва Г.В., Куция И.З. Надёжность нежёстких дорожных одежд по морозоустойчивости // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 4. С. 192–200.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-192-200

R.P. MOISEENKO, G.V. PUSHKARYOVA, I.Z. KUCYIA,

Tomsk State University of Architecture and Building

FROST RESISTANCE OF FLEXIBLE PAVEMENTS

The article shows that the algorithm used in the road design standard and national prestandard for calculating the frost resistance of flexible pavements has errors. The analysis is carried

in terms of the probability theory. Using the moments method, the problem of frost resistance of flexible pavements is solved. The general calculation allows evaluating particular options. It is proven that the algorithm proposed by the road design standard gives a result with a 0.5 probability, which cannot be acceptable. The proposed algorithm is presented in the form of equation of the frost resistance. From this equation, with an allowable value of heaving and 0.95 probability, the soil heaving is determined, which is always less than the allowable value. The known soil heaving allows to determine the thickness of the anti-frost heavy course, which is much greater than the thickness determined by algorithms proposed by the road design standard and national prestandard. Technically, the material is overspent, but the comparison is made with the error-containing algorithm. Therefore, this comparison cannot be correct. It is recommended to replace algorithms proposed by the road design standard and national prestandard with the algorithm proposed in this article.

Keywords: set reliability; frost resistance; pavement; anti-frost heavy course; soil heaving.

For citation: Moiseenko R.P., Pushkaryova G.V., Kucyia I.Z. Nadezhnost' nezhestkikh dorozhnykh odezhd po morozoustoichivosti [Frost resistance of flexible pavements]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 4. Pp. 192–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-192-200

Введение

В статье [1] отмечается несоответствие в трактовке термина «надёжность» между специалистами по теории расчёта дорожных одежд и специалистами по математической теории надёжности. Вкратце эта разница состоит в следующем.

В современной литературе (например, [2]) и нормативных документах по расчёту дорожных одежд [11, 12] используется термин «заданная надёжность» при назначении величины коэффициента запаса прочности или жёсткости. Требуемый коэффициент прочности или жёсткости выбирается по таблице в зависимости от коэффициента заданной надёжности (K_H). Такое использование термина «надёжность» не согласуется с математической теорией надёжности [3, 4]. В теории надёжности разработаны алгоритмы расчёта объектов методами теории вероятностей с определением вероятности случайного события. Для дорожных одежд случайным событием является выполнение условий прочности, жёсткости или морозоустойчивости. Показателем надёжности является вероятность выполнения условия. Вероятность по алгоритмам теории вероятностей зависит от средних значений и среднеквадратичных отклонений случайных величин.

В статье применение методов теории вероятностей показано на примере расчёта надёжности нежесткой дорожной одежды по критерию морозоустойчивости.

Постановка задачи

Условие морозоустойчивости нежесткой дорожной одежды имеет вид [2, 11, 12]

$$l_{\text{пуч}} \leq l_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где $l_{\text{пуч}}$ – расчётное пучение грунта земляного полотна; $l_{\text{доп}}$ – допускаемое пучение грунта.

При корректной постановке задачи в рамках математической теории надёжности должна определяться вероятность выполнения условия (1). Последовательность решения этой задачи методом моментов [5, 6] состоит в следующем.

1. Условие морозоустойчивости переписывается в виде [7]

$$g = l_{\text{ДОП}} - l_{\text{ПУЧ}} \geq 0, \quad (2)$$

где g – резерв морозоустойчивости.

2. Расчётное пучение грунта определяется по формуле [2, 11, 12]

$$l_{\text{ПУЧ}} = l_{\text{ПУЧ,СР}} K_{\text{УГВ}} K_{\text{ПЛ}} K_{\text{ГР}} K_{\text{НАГР}} K_{\text{ВЛ}}, \quad (3)$$

где $l_{\text{ПУЧ,СР}}$ – величина пучения при осреднённых условиях; $K_{\text{УГВ}}$ – коэффициент, учитывающий влияние уровня грунтовых вод; $K_{\text{ПЛ}}$ – коэффициент, учитывающий влияние плотности грунта рабочего слоя; $K_{\text{ГР}}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания; $K_{\text{НАГР}}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса слоёв дорожной одежды; $K_{\text{ВЛ}}$ – коэффициент, учитывающий влияние влажности грунта.

3. Все коэффициенты и величина пучения при осреднённых условиях определяются по соответствующим таблицам и графикам. Это значит, что аналитическую зависимость между резервом морозоустойчивости (g) и случайными характеристиками основания и дорожной одежды установить невозможно. Тогда остаётся один вариант – принять в качестве случайных только две величины: $l_{\text{ПУЧ}}$ и $l_{\text{ДОП}}$. Для этих величин назначаются вероятностные характеристики: $\bar{l}_{\text{ПУЧ}}$ – среднее значение расчётного пучения; $\bar{l}_{\text{ДОП}}$ – среднее значение допускаемого пучения грунта; $S(l_{\text{ПУЧ}})$ – среднеквадратичное отклонение величины $l_{\text{ПУЧ}}$; $S(l_{\text{ДОП}})$ – среднеквадратичное отклонение величины $l_{\text{ДОП}}$.

4. Определяется дисперсия резерва морозоустойчивости [8]:

$$S_g^2 = S^2(l_{\text{ДОП}}) + S^2(l_{\text{ПУЧ}}). \quad (4)$$

5. Определяется среднеквадратичное отклонение резерва морозоустойчивости:

$$S_g = \sqrt{S_g^2}. \quad (5)$$

6. Определяется индекс надёжности:

$$\beta = \frac{g}{S_g}. \quad (6)$$

7. Определяется вероятность выполнения условия морозоустойчивости (1):

$$P(g \geq 0) = 0,5 + \Phi(\beta), \quad (7)$$

где $\Phi(\beta)$ – интеграл Лапласа, определяемый по соответствующей таблице.

Таким образом, известный алгоритм метода моментов из теории вероятностей использован для расчёта надёжности морозоустойчивости нежестких

дорожных одежд. Ниже приводится характеристика существующего алгоритма расчёта морозозащитного слоя в сравнении с представленным алгоритмом расчёта надёжности морозоустойчивости дорожных одежд.

Расчёт морозозащитного слоя

Наиболее полно алгоритм расчёта морозозащитного слоя представлен в ОДН 218.046-01. Если условие морозоустойчивости (1) не выполняется, то производится расчёт морозозащитного слоя. В качестве исходной предпосылки расчёта принимается формула для вычисления $l_{\text{ПУЧ.СР}}$. Из формулы (3) следует

$$l_{\text{ПУЧ.СР}} = l_{\text{ПУЧ}} / (K_{\text{УТВ}} K_{\text{ПЛ}} K_{\text{ГР}} K_{\text{НАГР}} K_{\text{ВЛ}}). \quad (8)$$

Чтобы использовать формулу (8), необходимо задаться величиной $l_{\text{ПУЧ}}$. В ОДН и во всех учебниках принято:

$$l_{\text{ПУЧ}} = l_{\text{ДОП}}. \quad (9)$$

Тогда формула (8) преобразуется к виду

$$l_{\text{ПУЧ.СР}} = l_{\text{ДОП}} / (K_{\text{УТВ}} K_{\text{ПЛ}} K_{\text{ГР}} K_{\text{НАГР}} K_{\text{ВЛ}}). \quad (10)$$

Далее по величине $l_{\text{ПУЧ.СР}}$ определяются параметры морозозащитного слоя. Однако условие (9) приводит к следующему результату в расчёте надёжности:

$$l_{\text{ПУЧ}} = l_{\text{ДОП}} \Rightarrow g = l_{\text{ДОП}} - l_{\text{ПУЧ}} = 0 \Rightarrow \beta = \frac{g}{S_g} = \frac{0}{S_g} = 0 \Rightarrow$$

$$P(g \geq 0) = 0,5 + \Phi(\beta) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P(g \geq 0) = 0,5 + \Phi(0) \Rightarrow P(g \geq 0) = 0,5 + 0 = 0,5.$$

Полученный результат показывает, что условие (9) позволяет выполнить условие морозоустойчивости (1), но этот предельный вариант приводит к очень низкой величине вероятности выполнения условия (1) – $P = 0,5$. Таким образом, существующая методика расчёта морозозащитного слоя является неприемлемой с точки зрения обеспечения высокого уровня надёжности. Этот вывод показывает, что заданную надёжность можно обеспечить только на основе прямого использования алгоритма метода моментов.

Расчёт морозоустойчивости нежесткой дорожной одежды при заданной надёжности

Заданная надёжность обеспечивается не заданием коэффициента надёжности, а использованием формул метода моментов. Пусть $[P]$ – заданная вероятность. Тогда из формулы (7) следует

$$P(g \geq 0) = 0,5 + \Phi(\beta) \Rightarrow [P] = 0,5 + \Phi(\beta) \Rightarrow \Phi(\beta) = [P] - 0,5.$$

По таблице интегралов Лапласа при известной величине интеграла определяется заданное значение индекса надёжности $[\beta]$. Из формулы (6) следует

$$\beta = \frac{g}{S_g} \Rightarrow [\beta] = \frac{g}{S_g} \Rightarrow [\beta]^2 = \frac{g^2}{S_g^2} \Rightarrow g^2 - S_g^2 [\beta]^2 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (l_{\text{доп}} - l_{\text{пуч}})^2 - [\beta]^2 [S^2(l_{\text{доп}}) + S^2(l_{\text{пуч}})] = 0. \quad (11)$$

Уравнение (11) является уравнением заданной надёжности морозозащитного слоя. Из этого уравнения определяется величина $l_{\text{пуч}}$. Чем больше будет величина $[P]$, тем больше будет величина β . Увеличение β при постоянной величине $l_{\text{доп}}$ вызывает уменьшение $l_{\text{пуч}}$. Качественная зависимость по уравнению (11) получается следующей: при увеличении заданной вероятности выполнения условия морозоустойчивости уменьшается расчётное пучение грунта.

При известной величине $l_{\text{пуч}}$ по формуле (8) определяется $l_{\text{пуч,ср}}$ – величина пучения при осреднённых условиях. Затем по соответствующей номограмме определяется толщина дорожной одежды $h_{\text{од}}$. Номограмма показывает, что с уменьшением величины пучения толщина дорожной одежды увеличивается, т. е. для увеличения надёжности приходится увеличивать расход материала. Этой естественной закономерности соответствует уравнение заданной надёжности (11).

Использование уравнения (11) показано на примерах из ОДН 218.046-01.

Пример 1. Исходные данные:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;
- категория автомобильной дороги – I;
- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{\text{сл}} = 20$ лет;
- заданная надёжность – $K_{\text{н}} = 0,95$;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая с расчётной влажностью $0,7W_{\text{T}}$, отнесён к сильнопучинистым грунтам;
- материал для основания – щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20;
- высота насыпи – 1,5 м, толщина дорожной одежды – 0,6 м;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III;
- глубина залегания грунтовых вод – 1,1 м.

Расчёт морозоустойчивости по существующей методике

1. Глубина промерзания дорожной конструкции:

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{пр(ср)}} \cdot 1,38 = 1,4 \cdot 1,38 = 1,93 \approx 2 \text{ м.}$$

2. По глубине промерзания при толщине дорожной одежды 0,6 м определяется величина морозного пучения для осреднённых условий: $l_{\text{пуч,ср}} = 8,5$ см. Коэффициенты равны: $K_{\text{УГВ}} = 0,61$; $K_{\text{ПЛ}} = 1,2$; $K_{\text{ГР}} = 1,1$; $K_{\text{НАГР}} = 0,92$; $K_{\text{ВЛ}} = 1,1$. Величина пучения по формуле (3) – $l_{\text{пуч}} = 6,9$ см. Величина допускаемого пучения – $l_{\text{доп}} = 4$ см. Условие морозоустойчивости (1) не выполняется.

3. Расчёт морозозащитного слоя. Величина $l_{\text{пуч,ср}}$ определяется по формуле (10) – $l_{\text{пуч,ср}} = 4,9$ см. По номограмме определяется требуемая толщина дорожной одежды – $h_{\text{од}} = 0,92$ м. Толщина морозозащитного слоя –

$h_{\text{МРЗ}} = h_{\text{ОД}} - h_{\text{ОД}}^0 = 0,92 - 0,6 = 0,32$ м. В разделе статьи «Расчёт морозозащитного слоя» показано, что надёжность этого морозозащитного слоя обеспечена с вероятностью $P = 0,5$, несмотря на то, что в исходных данных принято $K_{\text{Н}} = 0,95$. Для увеличения надёжности необходимо использовать уравнение (11).

*Расчёт морозоустойчивости методом моментов
при заданной надёжности*

Пусть $[P] = 0,95$, т. е. принято $[P] = K_{\text{Н}}$. Тогда интеграл Лапласа равен $\Phi(\beta) = [P] - 0,5 = 0,95 - 0,5 = 0,45$. По таблице интегралов Лапласа определяется индекс надёжности $\beta = 1,65$.

Уравнение (11) необходимо преобразовать, выразив среднеквадратичные отклонения S через средние значения величин l с помощью коэффициентов вариации C [10]:

$$S(l_{\text{ПУЧ}}) = C_{\text{ПУЧ}} \cdot \bar{l}_{\text{ПУЧ}}; \quad S(l_{\text{ДОП}}) = C_{\text{ДОП}} \cdot \bar{l}_{\text{ДОП}}.$$

Кроме этого, потребуются формулы

$$l_{\text{ПУЧ}} = \bar{l}_{\text{ПУЧ}} / (1 - C_{\text{ПУЧ}}); \quad l_{\text{ДОП}} = \bar{l}_{\text{ДОП}} / (1 + C_{\text{ДОП}}). \quad (12)$$

Подстановка этих выражений в уравнение (11) даёт следующий результат:

$$\begin{aligned} \bar{l}_{\text{ПУЧ}}^2 \left(\frac{1}{(1 - C_{\text{ПУЧ}})^2} - \beta^2 \cdot C_{\text{ПУЧ}}^2 \right) - \frac{2l_{\text{ДОП}} \cdot \bar{l}_{\text{ПУЧ}}}{(1 - C_{\text{ПУЧ}})} + \\ + \bar{l}_{\text{ДОП}}^2 \left(1 - \beta^2 \cdot C_{\text{ДОП}}^2 (1 + C_{\text{ДОП}})^2 \right) = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Чтобы использовать уравнение (13), надо принять значения коэффициентов вариации. Для материалов автомобильных дорог отклонение характеристик от средних значений обычно принимается в пределах 20 % [8]. Тогда пусть $C_{\text{ПУЧ}} = 0,2$; $C_{\text{ДОП}} = 0,2$. С учётом этих значений коэффициентов вариации, величин $\beta = 1,65$ и $l_{\text{ДОП}} = 4$ см уравнение (13) преобразуется к квадратному уравнению относительно $\bar{l}_{\text{ПУЧ}}$:

$$1,4536 \bar{l}_{\text{ПУЧ}}^2 - 10 \bar{l}_{\text{ПУЧ}} + 13,491 = 0.$$

Меньший корень этого уравнения равен $\bar{l}_{\text{ПУЧ}} = 1,842$ (при большем корне не выполняется условие морозоустойчивости). Расчётное значение $l_{\text{ПУЧ}}$ определяется по формуле (12):

$$l_{\text{ПУЧ}} = \bar{l}_{\text{ПУЧ}} / (1 - C_{\text{ПУЧ}}) = 1,842 / (1 - 0,2) = 2,3.$$

Далее величина $l_{\text{ПУЧ.СР}}$ определяется по формуле (9):

$$l_{\text{ПУЧ.СР}} = l_{\text{ПУЧ}} / (K_{\text{УГВ}} K_{\text{ПЛ}} K_{\text{ГР}} K_{\text{НАГР}} K_{\text{ВЛ}}) = 2,3 / (0,61 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 0,92 \cdot 1,1) = 1,874 \text{ см.}$$

По соответствующей номограмме при $l_{\text{ПУЧ,СР}} = 1,874$ см определяется толщина дорожной одежды – $h_{\text{ОД}} = 1,45$ м. Толщина морозозащитного слоя – $h_{\text{МРЗ}} = h_{\text{ОД}} - h_{\text{ОД}}^0 = 1,45 - 0,6 = 0,85$ м.

Таким образом, по алгоритму ОДН $h_{\text{МРЗ}} = 0,32$ м, по вновь разработанному алгоритму с заданной надёжностью $h_{\text{МРЗ}} = 0,85$ м. Расход материала увеличился в 2,65 раза.

Расчёт показал, что достижение вероятности безотказной работы с уровня $P = 0,5$ до $P = 0,95$ требует большого расхода материала. Алгоритм расчёта морозозащитного слоя, представленный в ОДН 218.046-01, является слишком приблизительным.

Пример 2. Рассматривается пример № 5 из ОДН 218.046-01. По глубине промерзания 2 м и при толщине дорожной одежды 0,7 м определяется величина морозного пучения для осреднённых условий: $l_{\text{ПУЧ,СР}} = 7$ см. Коэффициенты равны: $K_{\text{УТВ}} = 0,67$; $K_{\text{ПЛ}} = 1,2$; $K_{\text{ГР}} = 1,1$; $K_{\text{НАГР}} = 0,92$; $K_{\text{ВЛ}} = 1,1$. Величина пучения по формуле (3) – $l_{\text{ПУЧ}} = 6,26$ см. Величина допускаемого пучения – $l_{\text{ДОП}} = 4$ см. Условие морозоустойчивости (1) не выполняется.

Расчёт морозозащитного слоя. Величина $l_{\text{ПУЧ,СР}}$ определяется по формуле (10) – $l_{\text{ПУЧ,СР}} = 4,47$ см. По номограмме определяется требуемая толщина дорожной одежды – $h_{\text{ОД}} = 1,05$ м. Толщина морозозащитного слоя – $h_{\text{МРЗ}} = h_{\text{ОД}} - h_{\text{ОД}}^0 = 1,05 - 0,7 = 0,35$ м. Расчёт по уточнённой методике с учётом теплофизических характеристик дал результат: $h_{\text{МРЗ}} = 0,5$.

Расчёт по алгоритму с заданной надёжностью $P = 0,95$ имеет те же результаты: $l_{\text{ПУЧ}} = 2,3$; $h_{\text{МРЗ}} = 0,85$ м. Расход материала увеличился в $0,85/0,35 = 2,43$ раза. По сравнению с уточнённым расчётом увеличение расхода материала составляет $0,85/0,5 = 1,7$ раза.

Выводы

1. Предложен алгоритм расчёта надёжности нежестких дорожных одежд по критерию морозоустойчивости. Алгоритм основан на применении метода моментов теории вероятностей при нормальном распределении плотности вероятностей случайных величин.

2. Аналитическими расчётами показано, что представленный нормами алгоритм расчёта морозоустойчивости нежестких дорожных одежд обеспечивает недостаточную вероятность её безотказной работы – $P = 0,5$. Расчёты учитывают нормальное распределение плотности вероятностей, но нормальное распределение является предельным для всех функций распределения.

3. Рассмотренный алгоритм расчёта морозоустойчивости нежесткой дорожной одежды при заданном уровне надёжности может привести к значительному расходу материала на устройство морозозащитного слоя, но это увеличение реально обеспечит безотказную работу дорожной одежды в период между её капитальными ремонтами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеенко Р.П., Пушкарёва Г.В., Акимов Б.Г., Стешенко А.О. Расчёт надёжности нежестких дорожных одежд методом моментов по критерию допускаемого прогиба // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6. С. 220–226.
2. Афиногенов О.П., Ефименко В.Н., Ефименко С.В. Конструирование и расчёт дорожных одежд. Кемерово : Кузбассвуиздат, 2008. 371 с.
3. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надёжности. Москва : Советское радио, 1969. 488 с.
4. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надёжности. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
5. Райзер В.Д. Теория надёжности сооружений. Москва : Изд-во АСВ, 2010. 384 с.
6. Su K., Sun L., Hachiya Y., Maekawa R. Analysis of Shear Stress in Asphalt Pavements Under Actual Measured Tire-Pavement Contact Pressure // Proceedings of the 6th ICPT. Japan, 2008. P. 11–18.
7. Ржаницын А.Р. Строительная механика. Москва : Высшая школа, 1982. 400 с.
8. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. Москва : Наука, 1965. 511 с.
9. Takemi Inoue, Yasuo Gunji, Hirokazu Akagi. Rational design method of hot mix asphalt based on calculated VMA // Eurasphalt & Eurobitume Congress. Vienna, 2004.
10. Золотарь И.А., Некрасов В.К., Коновалов С.В., Яковлев Ю.М., Коганзон М.С. Повышение надёжности автомобильных дорог. Москва : Транспорт, 1977. 183 с.
11. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Министерство транспорта РФ. Москва : Транспорт, 2001. 145 с.
12. ПНСТ 265-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. Москва : Стандартинформ, 2018. 77 с.

REFERENCES

1. Moiseenko R.P., Pushkaryova G.V., Akimov B.G., Steshenko A.O. Raschet nadezhnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd metodom momentov po kriteriyu dopuskaemogo progibaz [Reliability analysis of flexible pavements using moments method and bending strain criterion]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 6. Pp. 220–226. (rus)
2. Afingenov O.P., Efimenko V.N., Efimenko S.V. Konstruirovaniye i raschet dorozhnykh odezhd [Pavement design and strength analysis]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2008. 371 p. (rus)
3. Barlow R., Proschan F. Matematicheskaya teoriya nadezhnosti [Mathematical theory of reliability]. Moscow: Sovetskoe radio, 1969. 488 p. (transl. from Engl.)
4. Polovko A.M., Gurov S.V. Osnovy teorii nadezhnosti [Fundamentals of reliability theory]. Saint-Petersburg: BKhV-Peterburg, 2006. 704 p. (rus)
5. Raizer V.D. Teoriya nadezhnosti sooruzhenii [Theory of reliability of structures]. Moscow: ASV. 2010. 384 p. (rus)
6. Su K., Sun L., Hachiya Y., Maekawa R. Analysis of shear stress in asphalt pavements under actual measured tire-pavement contact pressure. *Proc. 6th Int. Conf. on Physics and Theory*. Japan, 2008. Pp. 11–18.
7. Rzhantsyn A.R. Stroitel'naya mekhanika [Structural mechanics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 400 p. (rus)
8. Smirnov N.V., Dumin-Barkovskii I.V. Kurs teorii veroyatnostei i matematicheskoi statistiki [The course on probability theory and mathematical statistics]. Moscow: Nauka, 1965. 511 p. (rus)
9. Takemi Inoue, Yasuo Gunji, Hirokazu Akagi. Rational design method of hot mix asphalt based on calculated. *VMA Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Vienna, 2004.
10. Zolotar' I.A., Nekrasov V.K., Konovalov S.V., Yakovlev Yu.M., Koganzon M.S. Povyshenie nadezhnosti avtomobil'nykh dorog [Improvement of road reliability]. Moscow: Transport, 1977. 183 p. (rus)
11. Road Design Standard 218. 046-01 Proektirovaniye nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Design of flexible pavements]. Moscow: Transport, 2001. 145 p. (rus)

12. National Prestandard 265 – 2018 Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Automobile public roads. Design technique for flexible pavements]. Moscow: Standartinform, 2018. 77 p. (rus)

Сведения об авторах

Моисеенко Ростислав Павлович, докт. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, moiseenko-rostislav@mail.ru

Пушкарёва Галина Вениаминовна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kedrik42@mail.ru

Куция Илья Зурабович, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, buzzzzzy@mail.ru

Authors Details

Rostislav P. Moiseenko, DSc, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, moiseenkorostislav@mail.ru

Galina V. Pushkaryova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kedrik42@mail.ru

Ilya Z. Kucyia, Undergraduate, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, buzzzzzy@mail.ru