

УДК 625.731

### ОБ ОШИБКАХ И НЕОБХОДИМОСТИ УТОЧНЕНИЯ РАСЧЁТА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ

**Горячев Михаил Геннадьевич**, д-р техн. наук, проф.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, [kafedra\\_sed@mail.ru](mailto:kafedra_sed@mail.ru)

**Лугов Сергей Владимирович** канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, [kafedra\\_sed@mail.ru](mailto:kafedra_sed@mail.ru)

**Калёнова Екатерина Валерьевна** канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, [kafedra\\_sed@mail.ru](mailto:kafedra_sed@mail.ru)

**Аннотация.** Территория Российской Федерации характеризуется значительными различиями условий промерзания грунтов. Проектирование как жёстких, так и нежёстких дорожных одежд выполняется по различным нормативным документам, но проверка их на сопротивление морозному пучению унифицирована. Существующий подход к проверке дорожной одежды на морозоустойчивость является сильно сокращённым вариантом расчёта по ранее действовавшим нормативным документам. Кроме того, при расчёте дорожных одежд для районов с сезонным промерзанием конструкции более 2,0 м получают некорректные результаты, выражающиеся в сокращении требуемой толщины дорожной одежды (морозозащитного слоя) по сравнению со случаями с меньшей глубиной промерзания. В статье описаны различия в проверке на морозоустойчивость по ранее действовавшей и современной нормативной методике проектирования дорожных одежд, приведён анализ результатов, получаемых при расчёте дорожных одежд по современной нормативной методике, и даны предложения по устранению недостатков при расчёте по критерию морозной устойчивости для обеспечения более надёжных и достоверных проектных решений.

**Ключевые слова:** морозное пучение, дорожные одежды.

### ON ERRORS AND THE NECESSITY OF REFINING THE CALCULATION OF PAVEMENTS FOR FROST RESISTANCE

**Goryachev Mikhail G.**, Dr. Sc., professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, [kafedra\\_sed@yadi.ru](mailto:kafedra_sed@yadi.ru)

**Lugov Sergey V.**, associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, [kafedra\\_sed@yadi.ru](mailto:kafedra_sed@yadi.ru)

**Kalenova Yekaterina V.**, associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, [kafedra\\_sed@yadi.ru](mailto:kafedra_sed@yadi.ru)

**Abstract.** The territory of the Russian Federation is characterized by significant differences in the conditions of soil freezing. The design of both rigid and flexible road pavements is carried out in accordance with various regulatory documents, but their testing for resistance to frost heaving is unified. The existing approach to testing the pavement for frost resistance is a greatly reduced version of the calculation according to the previously valid regulatory documents. In addition, when calculating road pavements for areas with seasonal freezing of the structure of more than 2.0 m, incorrect results are obtained, which are expressed in a reduction in the required thickness of the pavement (frost protection layer) in comparison with cases with a shallow freezing depth. The article describes the differences in testing for frost resistance according to the previously existing and modern regulatory methodology for the design of road pavements, provides an analysis of the results obtained when calculating road pavements according to the modern regulatory method, and gives suggestions for eliminating the shortcomings when calculating according to the criterion of frost resistance to ensure more reliable and reliable design solutions.

**Key words:** frost heaving, pavements.

### Введение

Проверка конструкции дорожной одежды на морозоустойчивость заключается в определении такой толщины дорожной одежды, которая будет достаточной для ограничения неравномерного морозного пучения. Такая толщина дорожной одежды называется требуемой. Компенсация недостающей до требуемой толщины дорожной одежды осуществляется, чаще всего, за счёт увеличения толщины дополнительного слоя основания, устраиваемого из различных неукреплённых каменных материалов: песков, песчано-гравийных и щебёночно-гравийно-песчаных смесей, прочих каменных материалов. Вычисление ожидаемой (возможной) величины неравномерного морозного пучения выполняется по формуле

$$l_{пуч} = l_{пуч.ср} \times K_{ув} \times K_{нл} \times K_{зр} \times K_{назр} \times K_{вл}, \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $l_{пуч.ср}$  – величина морозного пучения при осреднённых условиях, мм;

$K_{ув}$  – коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод;

$K_{пл}$  – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя;

$K_{гр}$  – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки;

$K_{нагр}$  – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания;

$K_{вл}$  – коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта.

Затем выполняют сравнение полученной величины неравномерного морозного пучения с предельно-допустимой и в случае превышения предельно-допустимого значения осуществляют корректировку конструкции дорожной одежды.

Величина среднего морозного пучения при глубине промерзания дорожной конструкции до 2,0 м включительно устанавливается по номограммам в зависимости от нескольких факторов: группы грунта по степени пучинистости, глубины промерзания дорожной конструкции и толщины проверяемой дорожной одежды. В случае глубины промерзания дорожной конструкции более 2,0 м вычисление величины неравномерного морозного пучения производят по предлагаемым в нормативных документах формулам [8, 9, 10]:

### **Основная часть**

Проверка дорожной одежды на сопротивление морозному пучению в обязательном порядке была предусмотрена в инструкции ВСН 46-83 [6]. В основной части инструкции приведён порядок проверки дорожной одежды для случая, когда глубина промерзания не достигает зимнего горизонта грунтовых вод. Такие условия эксплуатации могут характеризоваться

любым из трёх типов местности по характеру и степени увлажнения и любой из трёх расчётных схем увлажнения. В основу проверки, изложенной в ВСН 46-83, положено уравнение Пузакова-Корсунского, реализованное в виде номограммы. Известно, что уравнение Пузакова-Корсунского ограничено применением только в 3-м типе местности по характеру и степени увлажнения. Поэтому с формальной точки зрения использование уравнения Пузакова-Корсунского правомерно далеко не в каждом случае. Вероятно, данное обстоятельство могло послужить одной из причин, по которой этот расчёт не был включён в последующие редакции методик проектирования дорожных одежд [8, 10].

В приложении к инструкции ВСН 46-83 приведён другой порядок расчёта на морозную устойчивость дорожных одежд: для случая, когда глубина промерзания достигает или опускается ниже зимнего горизонта грунтовых вод. Разработчиками этого расчёта являются специалисты из Санкт-Петербурга (в прошлом Ленинград). При глубине промерзания дорожной конструкции более 2,0 м данный расчёт предусматривает внесение поправок к требуемой толщине дорожной одежды, определяемой для глубины промерзания равной 2,0 м. При глубине промерзания дорожной конструкции 2,5 м требуемая толщина дорожной одежды должна быть увеличена на 8%, а при глубине промерзания 3,0 м – 12%.

В ОДН 218.046-01 был упразднён учёт различия во взаимном расположении мёрзлого горизонта и уровня грунтовой воды. Объясняется это во многом тем, что на практике существует проблема прогнозирования уровня грунтовой воды в морозный период времени. При изысканиях уровень грунтовой воды устанавливают обычно в тёплый период, который может существенно изменяться как в годовом цикле, так и на многолетнем отрезке.

Описываемый в современной нормативной литературе расчёт на морозоустойчивость дорожных одежд в основе своей повторяет порядок,

изложенный в ВСН 46-83 для случая, когда глубина промерзания достигает и опускается ниже зимнего горизонта грунтовых вод. Однако данное условие в расчёте не оговаривается в ОДН 218.046-01. Отсюда можно заключить, что используемый в настоящее время расчёт признан достаточно универсальным и позволяет охватывать все возможные случаи взаимного расположения границы промерзания и уровня грунтовой воды. Это значительно упростило процесс расчёта дорожных одежд. Тем не менее, в ОДН 218.046-01 появились и другие изменения. Изменения затронули правила определения требуемой толщины дорожной одежды, а точнее размера морозного пучения  $\ell_{пуч}$  при глубине промерзания дорожной конструкции более 2,0 м. Вместо поправок к требуемой толщине дорожной одежды, как это было предусмотрено в ВСН 46-83, предложено устанавливать величину ожидаемого среднего морозного пучения по эмпирическим зависимостям вида:

$$\ell_{пуч.ср} = \ell_{пуч.ср2.0} \times [a + b \times (Z_{пр} - c)], \text{ мм}, \quad (2)$$

где  $a, b, c$  – коэффициенты, зависящие от глубины промерзания  $Z_{пр}$ .

Расчёты по этим зависимостям вида (2) приводят к уменьшению величины  $\ell_{пуч}$  на интервале глубины промерзания от 2,0 до 3,0 м (рис. 1-3) и, как следствие, к меньшей требуемой толщине дорожных одежд, что выявляет некорректность эмпирических формул, к которым неправильно подобраны параметры уравнений.

Зависимости на рис. 1-3 построены при следующих принятых исходных данных: уровень грунтовых вод на глубине 2,2 м от низа дорожной одежды,  $K_{нл} = 1,0$ ,  $K_{вл} = 1,2$ .

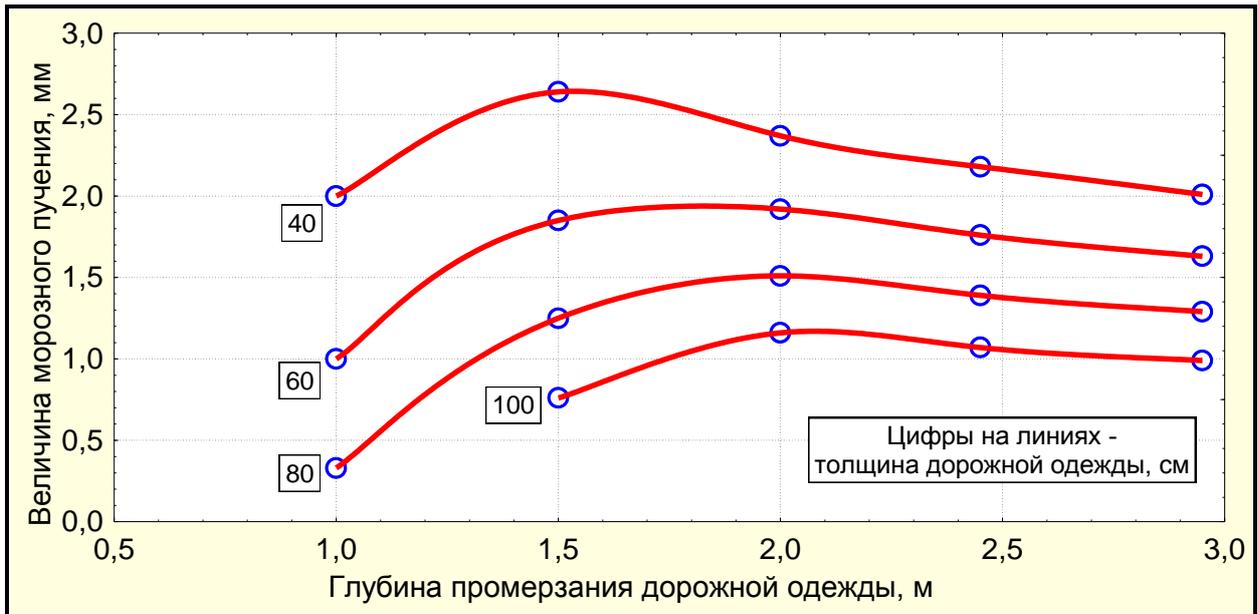


Рис. 1. Характер зависимости величины морозного пучения от глубины промерзания дорожной конструкции для II группы грунтов по степени пучинистости при 2-й и 3-й расчётных схемах увлажнения

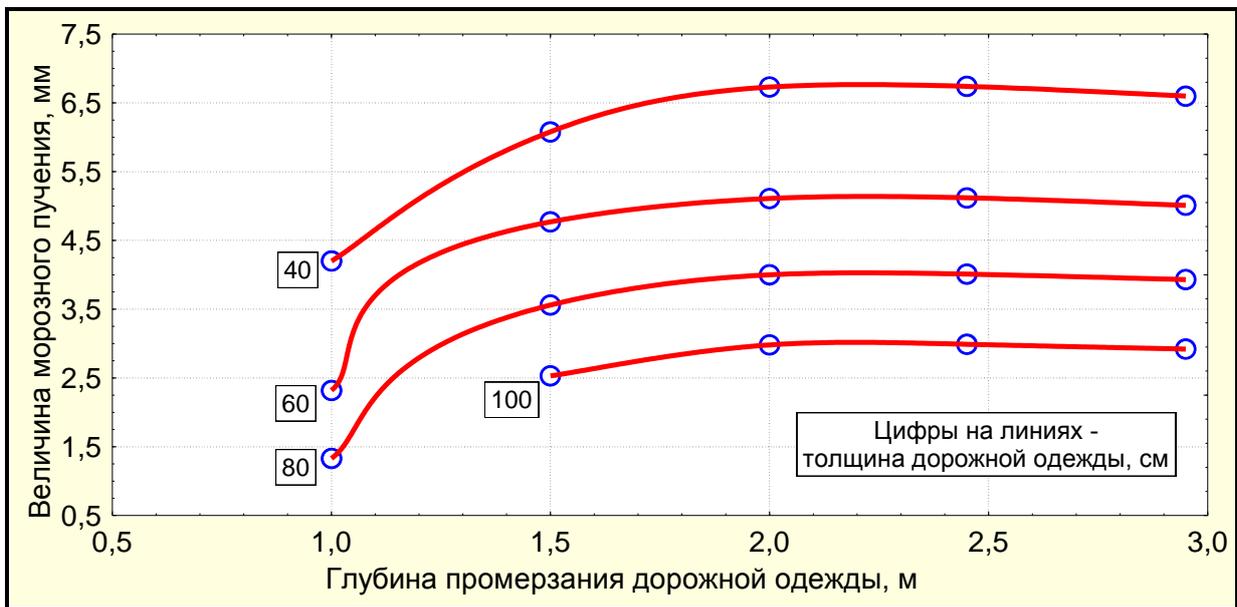


Рис. 2. Характер зависимости величины морозного пучения от глубины промерзания дорожной конструкции для III группы грунтов по степени пучинистости

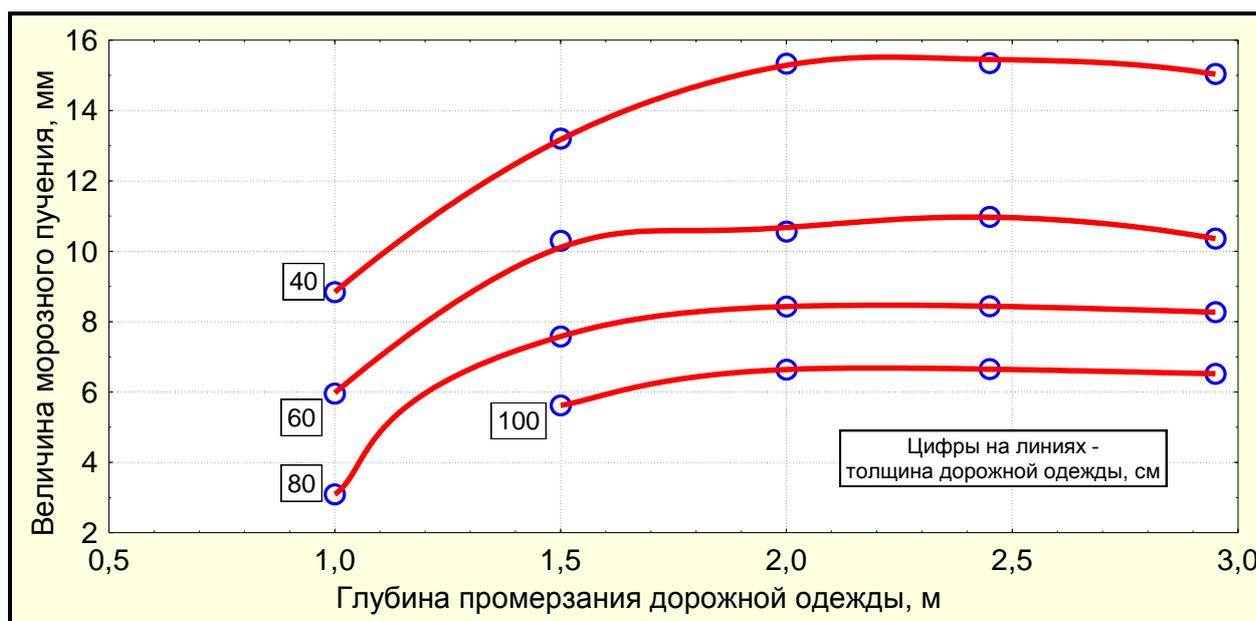


Рис. 3. Характер зависимости величины морозного пучения от глубины промерзания дорожной конструкции для V группы грунтов по степени пучинистости

Интерес к исследованию процесса морозного пучения дорожных одежд и методике уточнения расчёта по критерию морозной устойчивости достаточно широкий [1-6, 7, 11-14].

Одним из приёмов исправления рассмотренного недостатка расчёта может стать более правильный учёт характера зависимости коэффициента  $K_{нагр}$  от глубины промерзания дорожной одежды. С увеличением глубины промерзания коэффициент  $K_{нагр}$  понижается с довольно высоким темпом. Вероятно, это связано с вовлечением общей массы мёрзлой толщи в гравитационный процесс, направленный противоположно давлению, возникающему вследствие объёмного расширения замерзающей влаги в грунте. Хотя в работе [3] данное положение косвенно оспаривается.

К сожалению, при подготовке новой редакции нормативного документа на проектирование нежестких дорожных одежд ПНСТ 265-2018 его составители, помимо всего прочего, не обратили внимания и на практическую пригодность проверки морозной устойчивости дорожных

одежд. Эмпирические зависимости вида (2) остались без изменения. Объясняется это отсутствием в коллективе разработчиков ПНСТ 265-2018 соответствующих специалистов.

Если расчёты производить согласно рекомендациям ВСН 46-83, то имеющаяся ошибка в ОДН 218.046-01 и ПНСТ 265-2018 будет исправлена. Устранение выявленных неточностей можно выполнить аналитически: обоснованным подбором иных параметров к уравнению (2).

### **Заключение**

Установлена ошибка в нормативном расчёте дорожных одежд на сопротивление к морозному пучению на интервале глубины промерзания от 2,0 до 3,0 м. Для исключения имеющейся ошибки предложено обратиться к ранее применяемым поправкам или уточнить используемые в настоящее время эмпирические зависимости для определения средней величины морозного пучения.

### **Список литературы**

1. Алексеев, А.А. Влияние сил морозного пучения на эксплуатацию автомобильных дорог г. Якутска / А.А. Алексеев // Тенденции развития науки и образования. – 2017. – №33-1. – С. 14.
2. Бадина, М.В. Лабораторные исследования величины морозного пучения грунтов / М.В. Бадина // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2009. – № 3(24). – С. 150-156.
3. Вельсовский, А.Ю. Новый метод обеспечения устойчивости конструкций дорог к воздействию морозного пучения / А.Ю. Вельсовский, Б.Н. Карпов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 1(37). – С. 59-69.
4. Горячев, М.Г. Обоснование средней глубины промерзания почвы при дорожно-климатическом районировании Республики Башкортостан для проектирования дорожных одежд / М.Г. Горячев, С.В. Яркин // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2019. – № 4.
5. Ефименко, С.В. Обеспечение морозоустойчивости нежестких дорожных одежд на примере Томской области / С.В. Ефименко, В.С. Чурилин, А.Э. Трофимов // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVII

Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 т. – Томск, 2020. – С. 90-92.

6. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83. Минтрансстрой СССР. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с.

7. Каменев, А.М. Расчёт нежестких дорожных одежд на морозоустойчивость по заданному уровню надёжности / А.М. Каменев, С.Н. Киреев // Дороги и мосты. – 2011. – № 2(26). – С. 108-122.

8. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197-91) / Министерство транспорта РФ. Государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор). – М., 2004. – 135 с.

9. ПНСТ 265-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2018.

10. Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01 / Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. – М., 2001.

11. Чурилин, В.С. Некоторые результаты испытания пучинистых свойств глинистых грунтов // В.С. Чурилин, В.П. Базуев, М.В. Бадина // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 6(47). – С. 191-196.

12. Чурилин, В.С. Совершенствование норм проектирования дорожных одежд по критерию морозоустойчивости (на территории Томской области) / В.С. Чурилин, С.В. Ефименко // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика: материалы международной научно-практической конференции: в 3 ч. – 2018. – С. 114-118.

13. Щепотин, Г.К. Повышение морозоустойчивости земляного полотна автомобильных дорог / Г.К. Щепотин, Н.А. Машкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 3(675). – С. 85-91.

14. Ярмолинский, В.А. Пути повышения надёжности работы дорожных конструкций региональной автодорожной сети Дальнего Востока / В.А. Ярмолинский, А.Б. Лопашук // Транспортное строительство. – 2012. – № 3. – С. 6-9.

### References

1. Alekseev A.A. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 33-1, pp. 14.

2. Badina M.V. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2009, no. 24, pp. 150-156.

3. Velsovsky A.Yu., Karpov B.N. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2015, no. 37, pp. 59-69.

4. Goryachev M.G., Yarkin S.V. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2019, no. 4.

5. Efimenko S.V., Churilin V.S., Trofimov A.E. *Perspektivy razvitiya fundamental'nyh nauk*, Sbornik nauchnyh trudov, Tomsk, 2020, pp. 90-92.
6. Instrukciya po proektirovaniyu dorozhnyh odezhd nezhyostkogo tipa. VSN 46-83 (Instruction for the design of flexible pavements. VSN 46-83), Moscow, Transport, 1985, 157 p.
7. Kamenev A.M., Kireev S.N. *Dorogi i mosty*, 2011, no. 26, pp. 108-122.
8. Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniyu zhyostkih dorozhnyh odezhd (vzamen VSN 197-91) (Guidelines for the design of rigid road pavements (instead of VSN 197-91)), Moscow, 2004, 135 p.
9. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya, PNST 265-2018. Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd (General automobile roads, PNST 265-2018. Flexible pavements design), Moscow, Standartinform, 2018.
10. Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd, ODN 218.046-01 (Design of flexible pavements, ODN 218.046-01), Moscow, 2001.
11. Churilin, V.S., Bazuev V.P., Badina M.V. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2014, no. 47, pp. 191-196.
12. Churilin V.S., Efimenko S.V. *Innovacionnye faktory razvitiya transporta. Teoriya i praktika*, Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 2018, pp. 114-118.
13. Schepotin G.K., Mashkin N.A. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*, 2015, no. 675, pp. 85-91.
14. Yarmolinsky V.A., Lopashuk A.B. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2012, no. 3, pp. 6-9.

Рецензент: Ю.Э. Васильев, д-р техн. наук, проф. МАДИ