УДК 625.7/8

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ ПРОЕКТНОЙ НАДЁЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Карамышева Надежда Александровна, инженер,
ГК «Моспроект-3», Россия, 107031, Москва, ул. Кузнецкий мост, 3,
n.karamysheva@mosproekt3.ru
Горячев Михаил Геннадьевич, д-р техн. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru.
Лугов Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru,
Каленова Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru

Аннотация. Обеспечение надёжности автомобильных дорог можно рассматривать как поэтапный процесс, разделённый на такие основные стадии, как проектирование, строительство и эксплуатация. Теория надёжности автомобильных дорог в нашей стране получила достаточно широкое развитие и уже давно в той или иной степени интегрирована во все этапы жизненного цикла автомобильной дороги. Среди специалистов наиболее широко известен такой показатель, как уровень проектной надёжности дорожной одежды, обуславливающий её необходимый резерв по несущей способности. Величина уровня проектной надёжности дорожной одежды влияет на её строительную стоимость и при прочих равных условиях должна определять текущие затраты на содержание дорожной одежды. К сожалению, в нашей стране отсутствует нормативный регулятор, позволяющий увязывать запас прочности дорожной одежды с механизмом накопления дефектов. Это исключает и без того крайне редко используемую возможность проводить технико-экономическое обоснование уровня проектной надёжности для оптимизации конструкций дорожных одежд. Авторами предложен методический подход по обоснованию уровня проектной надёжности нежёстких дорожных одежд, который продемонстрирован на примере нежёсткой дорожной одежды автомобильной дороги II категории и реализуемый с использованием действующих положений нормативных документов.

Ключевые слова: проектирование дорожных одежд, уровень проектной надёжности.

METHODOLOGY FOR SUBSTANTIATION OF THE OPTIMUM LEVEL OF DESIGN RELIABILITY IN THE DESIGN OF PAVEMENTS

Karamysheva Nadezhda A., engineer,
Mosproekt-3, 3, Kuznetsky most Str., Moscow, 107031, Russia,
n.karamysheva@mosproekt3.ru
Goryachev Mikhail G., Dr. Sc., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.
Lugov Sergei V., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.
Kalenova Ekaterina V., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.

Abstract. Ensuring the reliability of roads can be viewed as a step-by-step process, divided into such main stages as design, construction and operation. The theory of road reliability in our country has been widely developed and has long been integrated to one degree or another into all stages of the life cycle of a road. Among specialists, the most widely known indicator is the level of design reliability of pavement, which determines its necessary reserve in terms of bearing capacity. The value of the level of design reliability of the pavement affects its construction cost and, other things being equal, should determine the current costs of maintaining the pavement. Unfortunately, in our country there is no regulatory regulator that allows linking the margin of safety of pavement with the mechanism of accumulation of defects. This eliminates the already extremely rarely used opportunity to conduct a feasibility study of the level of design reliability for optimizing pavement structures. The authors propose a methodical approach to substantiate the level of design reliability of flexible pavements, which is demonstrated on the example of flexible pavement of a category II road and implemented using the current provisions of regulatory documents.

Key words: pavements design, design reliability level.

Введение

Теория надёжности давно применяется для решения самого широкого круга проблем в различных секторах техники и технологий [2]. Причём большинство специалистов порой даже не замечают применённый инструментарий теории надёжности как в нормативной документации, так и в индивидуальных инженерных разработках. Однако из-за слабых представлений о действительных положениях теории надёжности всё реже

отраслевые работники принимают обоснованные взвешенные решения, работая либо по принципу «вроде примерно так должно быть», либо опираясь на административный ресурс.

В отечественной дорожной отрасли вопросам обеспечения и повышения надёжности автомобильных дорог уделено очень большое внимание, причём как в советский период [4, 5, 6], так и в настоящее время [1, 3, 7, 8]. Указанная теория планомерно актуализируется с учётом изменения и обновления нормативной базы, повышения доступности методов математического моделирования, а также научно-технического прогресса в дорожной отрасли [1]. По мере развития теории надёжности автомобильных дорог многие её важные положения внедрялись в методику проектирования дорожных одежд. Так от уровня проектной надёжности зависит так называемый коэффициент прочности, а правильнее коэффициент проектной прочности. Данный показатель по сути можно отнести к коэффициенту надёжности по условиям работы, который отвечает за учёт возможных неблагоприятных или благоприятных факторов, влияющих на несущую способность дорожных одежд: неполное соответствие расчётной схемы действительным условиям работы, влияние условий строительства и эксплуатации. Поэтому уровень проектной надёжности дорожной одежды интегрально характеризует эффективность проектного решения. В настоящее время в ПНСТ 542-2021 [9] в отличие от ОДН 218.046-01 [10] уровень проектной надёжности безальтернативно привязан к категории автомобильной дороги.

Существующие модели прогнозирования эксплуатационных показателей дорожных одежд [1, 5, 6] довольно сложны для рядового инженера и выходят за пределы его задачи из-за отсутствия соответствующего нормативного регулятора. Обязательный в этом случае учёт дисконтированных затрат фактически не применяется в современной отечественной дорожной практике. Кроме того программное обеспечение с

моделями прогнозирования эксплуатационного состояния дорожных одежд в общем доступе отсутствует.

Поэтому определённый практический интерес может представлять упрощённый методический подход для обоснования оптимального уровня проектной надёжности нежёстких дорожных одежд, основанный на использовании в расчётах лишь главных укрупнённых компонентов затрат при строительстве и эксплуатации.

Основная часть

Реализация предлагаемого методического подхода заключается в последовательном проектировании нежёсткой дорожной одежды при различных уровнях проектной надёжности. Очевидно, что с повышением уровня проектной надёжности капитальные затраты на дорожную одежду возрастут, а на содержание при этом должны снижаться. Таким образом, задача становится технико-экономической. В качестве примера взята автомобильная дорога, расположенная в Курской области со следующими исходными данными для проектирования (см. табл. ниже).

Таблица

Категория автомобильной дороги	II
Количество полос движения в обоих направлениях	2
Тип дорожной одежды	капитальный
Ежегодный прирост интенсивности движения	1,02
Дорожно-климатическая зона	III-2
Расчётная нагрузка, кН / расчётное давление, МПа	115 / 0,8
Расчётная схема увлажнения	1
Срок службы, годы	24
Глубина промерзания грунта, см	110
Приведённая к расчётной нагрузке интенсивность движения (на одну полосу), авт./сут.	10750
Уровень грунтовых вод от низа дорожной одежды, м	5.00
Количество расчётных дней в году, сут.	135
Суммарное количество приложений расчётной нагрузки, ед.	29 201 717

Чем больше вариантов уровней проектной надёжности будет рассмотрено, тем достовернее оптимальное решение. Примем к рассмотрению четыре варианта уровней проектной надёжности: 0,85, 0,90, 0,95 и 0,98 – для которых запроектированы конструкции дорожных одежд (рис. 1 – 4).

Очевидно, что сочетания слоёв и их толщин тоже является технико-экономической задачей. При таком подходе каждый из предлагаемых вариантов будет иметь несколько подвариантов (подтипов). Но отсутствие оптимизации внутри каждого варианта не мешает демонстрации описываемого подхода.

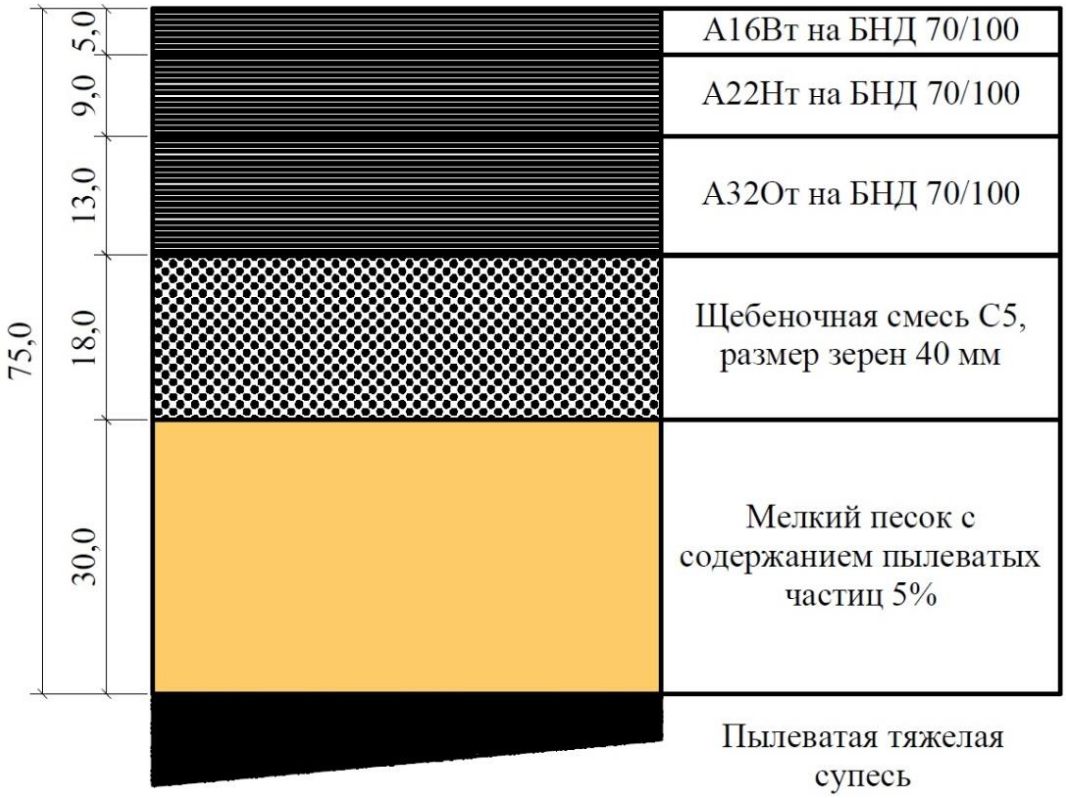

Рис. 1. Вариант дорожной одежды при уровне проектной надёжности 0,85

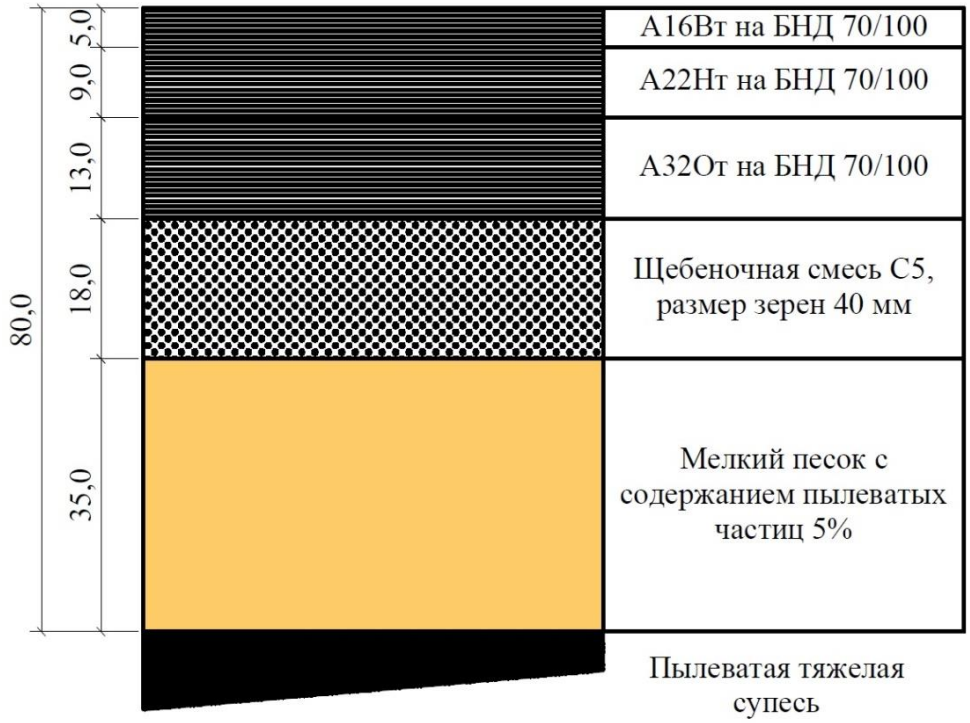

Рис. 2. Вариант дорожной одежды при уровне проектной надёжности 0,90

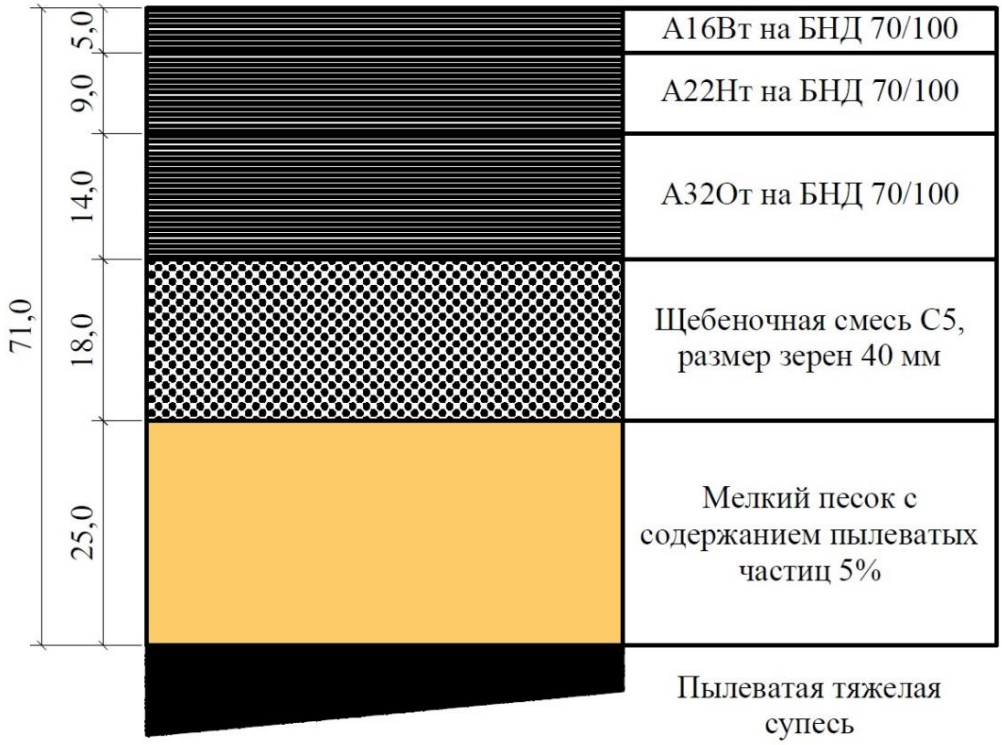

Рис. 3. Вариант дорожной одежды при уровне проектной надёжности 0,95

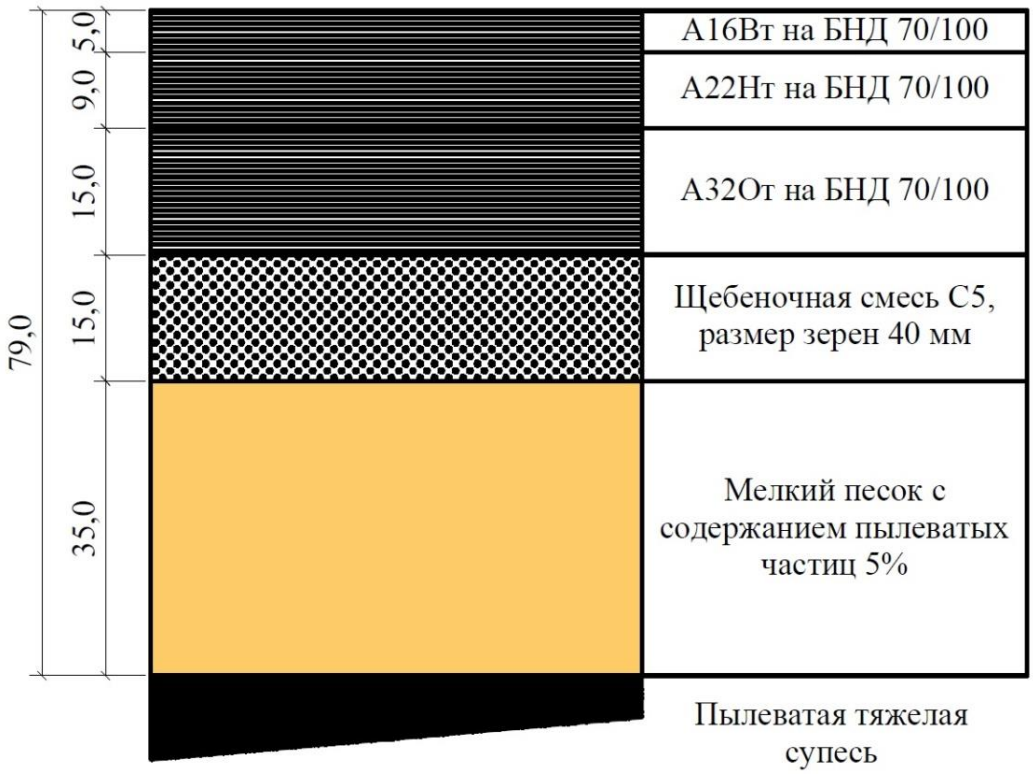

Рис. 4. Вариант дорожной одежды при уровне проектной надёжности 0,98

Однако согласно отечественным нормативным документам затраты на содержание дорожной одежды не зависят от уровня её проектной надёжности. Поэтому приходится пойти на ряд допущений. Так бюджетный размер ассигнований на содержание автомобильной дороги, включая дорожную одежду, принят эквивалентным нормативному уровню проектной надёжности для II категории равный 0,95 [9].

Бюджет содержания дороги II категории рассчитан согласно правилам, изложенным в Постановлении Правительства Российской Федерации №658 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчёта размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения» с индексом-дефлятором на второй квартал 2022 г.

Затратами на ремонт можно пренебречь, так как их величина определяется нормативными сроками службы, которые для всех вариантов дорожных одежд идентичны. Хотя формально скоростной режим может

иметь небольшие различия при разном запасе прочности, но разница в скорости на отрезке 3…4 года между ремонтами (заменой покрытия) несущественна.

Будем исходить из предположения, что затраты на содержание по всем видам работ каждого конструктивного элемента можно рассматривать пропорционально изменяющимися относительно отклонения уровня проектной надёжности от базового 0,95. Например, затраты на содержание дорожной одежды с уровнем проектной надёжности 0,85 будут на 10,5% ниже, чем при уровне проектной надёжности, принятом за базовый 0,95.

Таким образом, каждому уровню проектной надёжности был установлен корректирующий коэффициент затрат на содержание, на которые умножается стоимость содержания дороги II категории.

В результате технико-экономического сравнения четырёх вариантов установлено, что для конкретных условий строительства и эксплуатации наиболее эффективным решением будет вариант с наивысшим уровнем проектной надёжности 0,98 (рис. 5), а не 0,95 в соответствии с ПНСТ 542-2021.

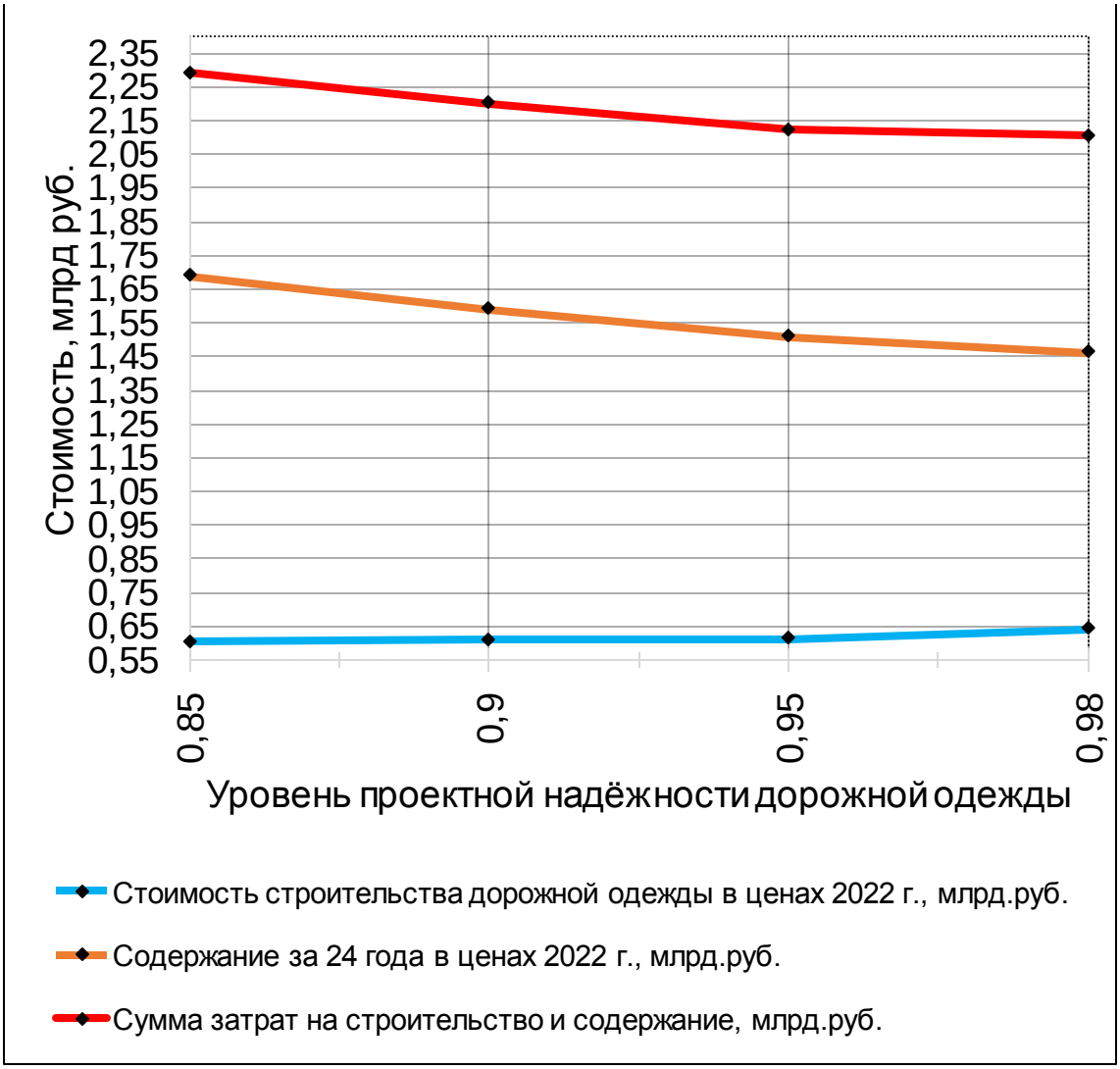

Рис. 5. График зависимости стоимости строительства и содержания от уровня проектной надёжности дорожной одежды

Заключение

Предложен и продемонстрирован методический подход для оптимизации уровня проектной надёжности дорожных одежд с учётом бюджета на их содержание и без необходимости прогнозирования эксплуатационных показателей дорожных одежд. Для возможности практического применения данного метода следует предусмотреть соответствующее правовое поле в нормативных руководствах по проектированию дорожных одежд, а также разработать методику определения затрат на содержание дорожных одежд с

дифференцированием этих расходов не только по категориям автомобильных дорог, но и по уровню проектной надёжности дорожных одежд.

Более прогрессивным решением будет переход при проектировании дорожных одежд на методы, реализующие инструменты для прогнозирования эксплуатационных показателей в течение межремонтных сроков службы.

Список литературы

1. Горячев, М.Г. Повышение надёжности автомобильных дорог: учебное пособие / М.Г. Горячев. – М.: МАДИ, 2020. – 158 с.
2. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике (ССНТ). Термины и определения.
3. Ефименко, В.Н. Пути обеспечения эксплуатационной надёжности автомобильных дорог в природных условиях Сибири / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, М.В. Бадина // Транспортное строительство. – 2007. – № 1. – С. 18-19.
4. Золотарь, И.А. Обеспечение надёжности автомобильных дорог по прочности при их проектировании, строительстве и эксплуатации / И.А. Золотарь. – С.-Петербург: Военная академия тыла и транспорта, 1996. – 84 с.
5. Золотарь, И.А. Повышение надёжности автомобильных дорог / И.А. Золотарь, В.К. Некрасов, С.В. Коновалов, и др. – М.: Транспорт, 1977. – 183 с.
6. Коганзон, М.С. Качество и надёжность дорожного строительства / М.С. Коганзон, Ю.М. Яковлев. – М.: МАДИ, 1981. – 90 с.
7. Моисеенко, Р.П. К оценке долговечности автомобильных дорог / Р.П. Моисеенко, В.Н. Ефименко // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – Т. 21. – № 3. – С. 207-213.
8. Моисеенко, Р.П. Расчёт надёжности нежёстких дорожных одежд методом моментов по критерию допускаемого прогиба / Р.П. Моисеенко и др. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 6. – С. 220-226.
9. ПНСТ 542-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежёсткие дорожные одежды. правила проектирования / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2021.

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

References

1. Goryachev M.G. *Povyshenie nadyozhnosti avtomobil'nyh dorog* (Improving the reliability of roads), Moscow, MADI, 2020, 158 p.

2. *Nadyozhnost' v tekhnike (SSNT). Terminy i opredeleniya, GOST 27.002-2015* (Reliability in engineering (SSNT). Terms and Definitions), Moscow, 2015.

3. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2007, no. 1, pp.18-19.

4. Zolotar' I.A. *Obespechenie nadyozhnosti avtomobil'nyh dorog po prochnosti pri ih proektirovanii, stroitel'stve i ekspluatacii* (Ensuring the reliability of roads in terms of strength during their design, construction and operation). St. Petersburg, Voyennaya akademiya tyla i transporta, 1996, 84 p.

5. Zolotar' I.A., Nekrasov V.K., Konovalov S.V., Yakovlev Yu.M., Koganzon M.S. *Povyshenie nadezhnosti avtomobil'nykh dorog* (Roads reliability improvement). Moscow: Transport, 1977, 183 p.

6. Koganzon M.S., Yakovlev Yu.M. *Kachestvo i nadyozhnost' dorozhnogo stroitel'stva* (Quality and reliability of road construction), Moscow, MADI, 1981, 90 p.

7. Moiseenko R.P., Efimenko V.N. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2019, no. 3, pp. 207–213.

8. Moiseenko R.P. Pushkareva G.V., Akimov B.G., Steshenko A.O. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2017, no. 6, pp. 220–226.

9. *Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd. ODN 218.046-01* (Design of flexible pavements, ODN 218.046-01), Moscow, 2001.

10. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. PNST 542-2021. Nezhyostkie dorozhnye odezhdy. Pravila proektirovaniya* (General automobile roads. PNST 542-2018. Flexible pavements. Rule of design), Moscow, Standartinform, 2021.

Рецензент: В.В. Ушаков, д-р техн.наук, проф., МАДИ