

ОЦЕНКА ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ НЕЖЁСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД, УСТРОЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «КОМПАКТ-АСФАЛЬТ», ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Ретюнский Артемий Алексеевич, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, reeeeart@gmail.com.

Горячев Михаил Геннадьевич, д-р техн. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, kafedra_sed@mail.ru.

Аннотация. Одним из способов снижения затрат при устройстве дорожных одежд является уменьшения толщины слоёв конструкции путём применения технологии «компакт-асфальт». Несмотря на наличие публикаций и экспертных заключений об эффективности технологии неразрывной укладки асфальтобетонных смесей без потери прочностных показателей дорожных одежд, нормативные методики проектирования дорожных одежд не предусматривают возможности объединения нескольких слоёв асфальтобетона при расчёте на прочность. В статье приведены результаты вычислительного эксперимента по оценке влияния на изменение запаса прочности нежестких дорожных одежд совместной укладки нижнего слоя покрытия и верхнего слоя основания в трёхслойных асфальтобетонных пакетах. Показано, что в случае применения технологии «компакт-асфальт» достигается определённый запас по прочности, зависящий от суммарного количества приложений расчётной нагрузки за срок службы дорожной одежды. Разработанный подход может быть включён в перерабатываемую нормативную документацию по проектированию нежестких дорожных одежд.

Ключевые слова: технология «компакт-асфальт»; проектирование нежестких дорожных одежд.

EVALUATION OF THE STRENGTH MARKET OF THE FLEXIBLE PAVEMENTS, DESIGNED WITH THE APPLICATION OF THE COMPACT-ASFALT TECHNOLOGY, FROM THE TRAFFIC INTENSITY

Retunskiy Artemy A., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, reeeeart@gmail.com.

Goryachev Mikhail G., Dr. Sc., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, kafedra_sed@madi.ru.

Abstract. One of the ways to decrease expenditures while installing road surface layers is to reduce the thickness of the construction by using the "compact-asphalt" technology. In spite of the availability of publications and expert opinions about the effectiveness of the uninterrupted paving-technology asphalt mixtures without losing durability of road surface layers, regular methods of construction road surface layers do not give an opportunity to combine several layers of asphalt mixtures in process of strength calculation. The article represents the results of a mathematic experiment, which value the effect of the joint paving the lower covering layer and the upper base layer in three-layer asphalt packages on the change durability of the road surface layers. It has shown, that in the case of using the «compact-asphalt» technology, could be achieved a certain reserve of strength, depending on the total number of rated load applications over the service life of the road surface layers. The developed approach could be included in the renewed normative documents for the flexible pavement design.

Key words: compact asphalt technology, flexible pavement design.

Введение

Среди главных недостатков современных нормативных методик проектирования дорожных одежд следует отметить нерешительность разработчиков этих документов в формулировании важных для дорожной практики положений. Так, например, это произошло в отношении геосинтетических материалов, включение которых в дорожные конструкции до сих пор не является обязательным, что приводит к большим затруднениям при согласовании применения геосинтетики в разрабатываемых проектах. Более того, широко известные и зарекомендовавшие себя в отечественной или зарубежной практике технологии не упоминаются вовсе, а методики обоснования их эффективности отсутствуют. Примером такой технологии является давно применяемый в Германии, Швеции, Дании и других странах способ укладки нескольких слоёв дорожной одежды из асфальтобетона за один проход асфальтоукладчика с последующим уплотнением сразу всех уложенных слоёв. В нашей стране исследованием образцов компакт-асфальтобетона, изготовленных в лабораторных условиях, занимались

к.т.н. Горелышева Л.А. и инж. Сахаров И.С. [8]. Имеется ряд публикаций, описывающих исключительно технологические особенности технологии комбинированной укладки асфальтобетонных слоёв [1, 2, 3, 4, 7].

Вычислительный эксперимент для оценки возможной экономии дорожно-строительных материалов в конструкциях дорожных одежд со слоями «компакт-асфальта» по сравнению с конструкциями, запроектированными с разрозненными слоями асфальтобетона, приведён в статье специалистов кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» МАДИ [5].

Предложенный в работе [5] подход основывается на действующем расчётном аппарате проектирования дорожных одежд. Поэтому его можно использовать для изучения других особенностей и преимуществ, присущих технологии «компакт-асфальта».

Основная часть

Для выявления конструктивных изменений и влияния на прочностные показатели дорожной одежды, достигаемых при устройстве дорожной одежды, в которой два асфальтобетонных слоя уложены за один проход, от интенсивности движения, выполним вычислительный эксперимент для дорожной одежды, проектируемой в следующих условиях:

- категория автомобильной дороги – I-а,
- количество полос движения – 4;
- дорожно-климатическая зона – II₂;
- расчётная схема увлажнения – 2;
- тип дорожной одежды – капитальный;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь лёгкая

крупная (песчанистая).

Заданные параметры слоёв дорожной одежды:

- слой износа (учитывается в расчёте) ЦМА-16 на ПБВ 60 по ГОСТ Р 58406.1 толщиной 5 см;

- нижний слой покрытия из асфальтобетона А16Нт по ГОСТ Р 58406.2 на БНД 50/70 с варьируемой толщиной $h_{нсп}$ см;
- верхний слой основания из асфальтобетона А22От по ГОСТ Р 58406.2 на БНД 50/70 толщиной 11,0 см;
- нижний слой основания из щебёночно-песчаной смеси, обработанной цементом М100, по ПНСТ 326-2019 толщиной 32 см;
- дополнительный слой основания из песка средней крупности толщиной 20 см.

Принципиальная схема анализируемой конструкции дорожной одежды приведена на (рис. 1). На рисунке 1 показаны накопленные общие модули упругости $E_{общ}^k$. Расчёт выполнен с применением программного комплекса КРЕДО-РАДОН для различных суммарных размеров движения в диапазоне от 10^7 до $4 \cdot 10^7$ приложений расчётной нагрузки за срок службы дорожной одежды. Выбранная методика проектирования – ПНСТ 542-2021.

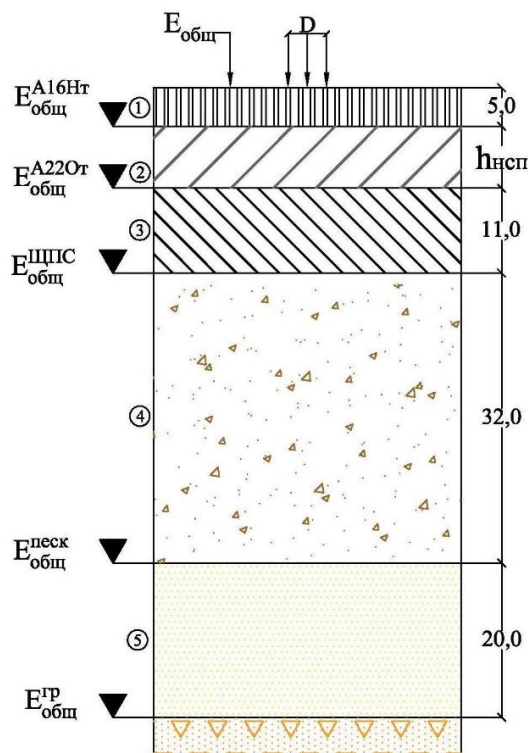


Рис. 1. Расчётная схема конструкции дорожных одежд, устроенных отдельной укладкой нижнего слоя покрытия и верхнего слоя основания:

D – расчётный диаметр отпечатка колеса

Результаты вычислений с определением запаса по прочности относительно требуемого модуля упругости приведены в табл. 1.

Расчётная модель дорожной одежды, в которой нижний слой покрытия и верхний слой основания объединены при строительстве, показана на рис. 2. На рисунке 2 показаны накопленные общие модули упругости $E_{общ}^k$.

Таблица 1

Характеристики конструкций дорожной одежды с предполагаемым раздельным устройством верхнего слоя основания и нижнего слоя покрытия

Суммарное количество приложений расчётной нагрузки, авт/сут.	Толщина нижнего слоя покрытия $h_{нсп}$, см	Толщина верхнего слоя основания $h_{всо}$, см	Общий модуль упругости, МПа	Запас прочности, %
10^7	6,0	11,0	790	21,5
$2 \cdot 10^7$	7,0	11,0	828	18,1
$3 \cdot 10^7$	8,0	11,0	871	19,2
$4 \cdot 10^7$	9,0	11,0	915	21,7

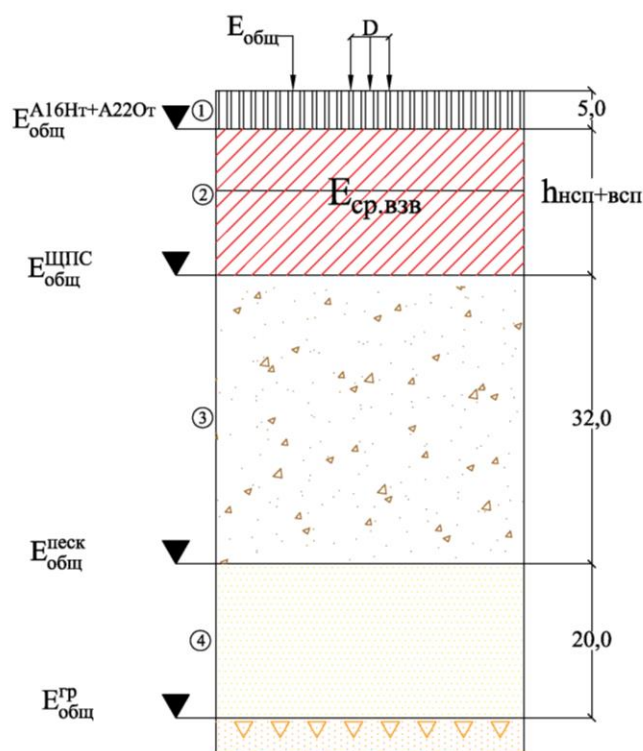


Рис. 2. Расчётная схема конструкции дорожных одежд, устроенных с использованием технологии «компакт-асфальт»:

$E_{ср.взв}$ – средневзвешенный модуль упругости двух слоёв асфальтобетона;

D – расчётный диаметр отпечатка колеса

Для определения механических характеристик 2-хслойного «пакета» асфальтобетона, укладываемого по технологии «компакт-асфальт», применена формула для определения средневзвешенного модуля упругости многослойной конструкции [6, с.33]:

$$E_{ср.взв} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i * h_i}{\sum_{i=1}^n h_i},$$

где E_i – модуль упругости i -го слоя асфальтобетона, МПа;

h_i – толщина i -го слоя асфальтобетона, м;

i – количество слоёв асфальтобетона, укладываемых совместно.

Полученный в ходе вычислений дополнительный запас прочности свидетельствует об эффективности применения конструкций, в которых предусмотрена технология «компакт-асфальт» (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2

Характеристики конструкций дорожной одежды с предполагаемым устройством верхнего слоя основания и нижнего слоя покрытия по технологии «компакт-асфальт»

Суммарное количество приложений расчётной нагрузки, авт/сут.	Толщина нижнего слоя покрытия ($h_{нсп}$), см	Толщина верхнего слоя основания ($h_{всо}$), см	Общий модуль упругости, МПа	Запас прочности, %	Увеличение запаса прочности, %
10^7	6,0	11,0	842	29,5	8,0
$2 \cdot 10^7$	7,0	11,0	877	25,1	7,0
$3 \cdot 10^7$	8,0	11,0	911	24,6	5,5
$4 \cdot 10^7$	9,0	11,0	945	25,7	4,0

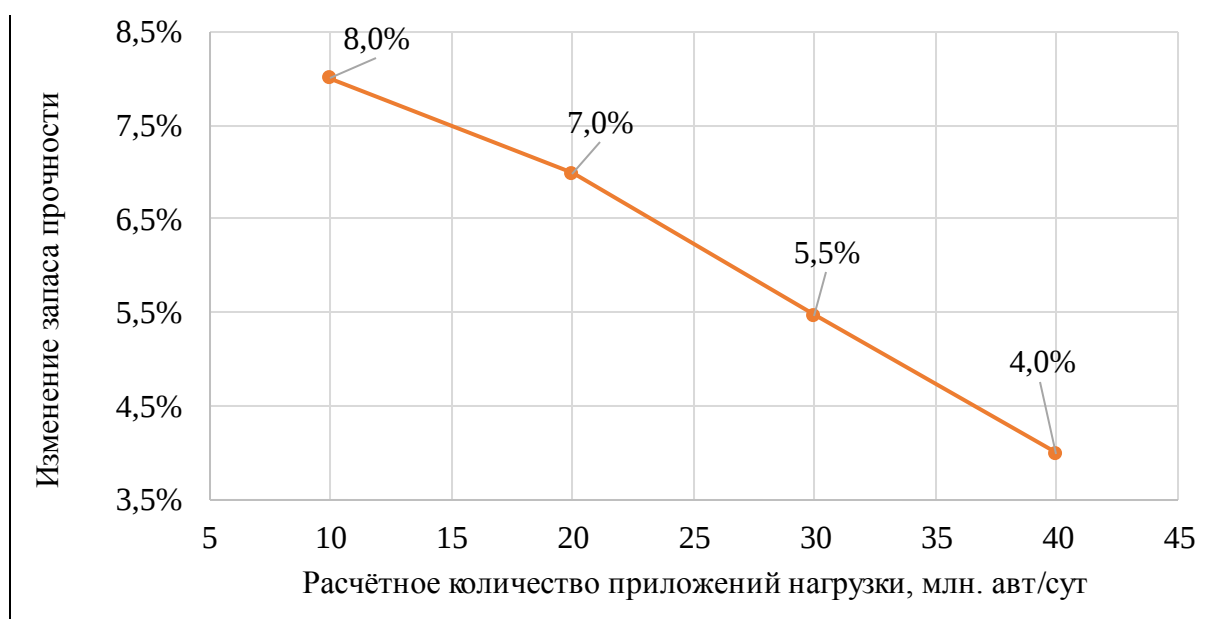


Рис. 3. Увеличение запаса прочности дорожных одежд при совместной укладке верхнего слоя основания и нижнего слоя покрытия

Из полученных результатов можно заключить, что по мере увеличения суммарного количества приложений расчётной нагрузки, при

прочих равных условиях, абсолютное значение запаса прочности конструкций, устроенных с технологией «компакт-асфальт», несколько снижается (см. рис. 3). Иллюстрация соотношений общих модулей упругости, установленных в ходе вычислительного эксперимента, приведена на рис. 4.

Следует отметить, что определяющим критерием расчёта на прочность является сопротивление усталостному разрушению монолитных слоёв (асфальтобетона) при изгибе. Поэтому полученные запасы в общем модуле упругости являются необходимыми для обеспечения выполнения требований по всем критериями прочности. Технология «компакт-асфальт» позволяет сгладить различие в запасах прочности по различным критериям (рис. 5) или существенно сократить толщину верхнего слоя основания (табл. 3).

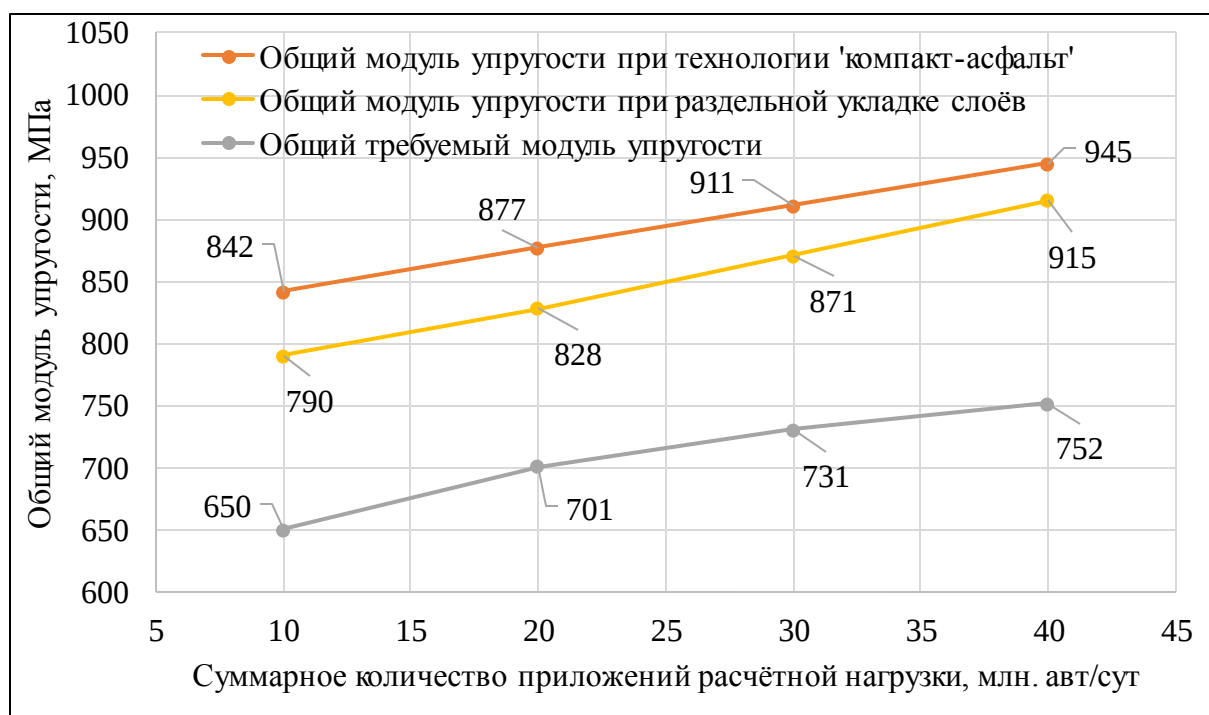


Рис. 4. Зависимости модуля упругости конструкций от расчётного количества приложений

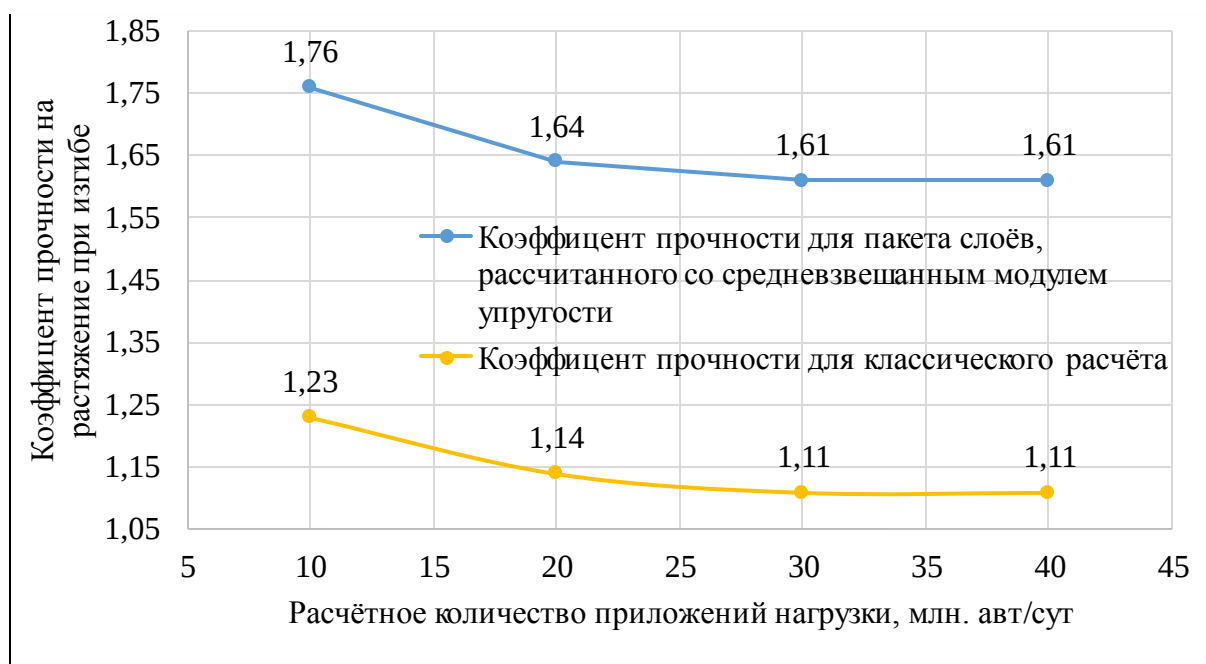


Рис. 5. Зависимости коэффициента прочности на растяжение при изгибе от количества приложений расчётной нагрузки

Таблица 3

Возможное уменьшение толщины верхнего слоя основания в конструкции с технологией «компакт-асфальт»

Количество приложений расчётной нагрузки, авт/сут	Суммарная толщина нижнего слоя покрытия и верхнего слоя основания при послойной укладке, см	Суммарная толщина нижнего слоя покрытия и верхнего слоя основания при устройстве по технологии «компакт-асфальт», см	Уменьшение толщины верхнего слоя основания $h_{всо}$, см	Запас прочности после уменьшения толщины конструкции, %
10^7	17,0	12,0	5,0	5,0
$2 \cdot 10^7$	18,0	13,0	5,0	2,0
$4 \cdot 10^7$	19,0	14,0	5,0	1,0
$6 \cdot 10^7$	20,0	14,0	6,0	1,0

Заключение

В ходе вычислительного эксперимента установлено, что в рамках действующего метода проектирования нежестких дорожных одежд существует возможность обосновать экономию дорожно-строительных материалов в случае устройства двух слоёв из асфальтобетона по технологии «компакт-асфальт». Внедрение эффективного инновационного решения приведёт к организационным издержкам и вложениям в современный укладочный комплекс, что потребует детального экономического расчёта для включения этой технологии в состав проекта.

Список литературы

1. Бамбуров, А.С. Новые технологии в дорожном строительстве / А.С. Бамбуров // Интернаука. – 2019. – №22-1(104). – С. 6-7.
2. Веретенцев, А.А. Способы устройства асфальтобетонного покрытия методом «горячее по горячему» / А.А. Веретенцев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2018. – №4. – С. 126-128.
3. Войкина, А.С. Способы устройства асфальтобетонного покрытия методом «горячее по горячему» или «компакт-асфальт» / А.С. Войкина, В.М. Вайнштейн // В кн.: Россия и мир: национальная безопасность, вызовы и ответы; под общ. ред. В.П. Шалаева. В 2 частях. – ПГТУ, 2018. – С. 180-183.
4. Войкина, А.С. Устройство асфальтобетонного покрытия с применением технологии компакт-асфальт / А.С. Войкина // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. – 2018. – №5. – С. 28-30.
5. Горячев, М.Г. Обоснование эффективности устройства асфальтобетонных покрытий технологией компакт-асфальта нормативным расчётом нежестких дорожных одежд / М.Г. Горячев, С.В. Лугов, Е.В. Калёнова, С.В. Яркин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2021. – №1 (95). – С. 17-18.
6. Горячев, М.Г. Повышение надёжности автомобильных дорог: учеб. пособие / М.Г. Горячев. – М.: МАДИ, 2020 – 158 с.
7. Ищенко, М.А. Технология асфальтирования «компакт-асфальт» / М.А. Ищенко, П.В. Перепелица, С.В. Турдаков // Наука и образование в социокультурном пространстве современного общества: сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции, КубГТУ, 2019. – С. 51-53.

8. Сахаров, И.С. Лабораторное исследование асфальтобетонного комбинированного дорожного покрытия по принципу «горячее по горячему» / И.С. Сахаров, Л.А. Горелышева // Дороги и мосты. – 2015. – №1 (33). – С. 279-284.

References

1. Bamburov A.S. *Internauka*, 2019, no 22-1 (104), pp. 6-7.
2. Veretencev A.A. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodyh*, 2018, no 4, pp. 126-128.
3. Vojkina A.S. *Rossiya i mir: nacional'naya bezopasnost', vyzovy i otvety v 2 chastyah; pod obshch. red. V.P. SHalaeva*, Volga State Technological University, 2018, pp. 180-183.
4. Vojkina A.S., Vajnshtejn V.M. *Inzhenernye kadry – budushchee innovacionnoj ekonomiki Rossii*, 2018, no 5, pp. 28-30.
5. Goryachev M.G., Lugov S.V., Kalonova Ye.V., Yarkin S.V. // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*, 2021. №1 (95). –S. 17-18.
6. Goryachev M.G. *Povysheniye nadezhnosti avtomobil'nykh dorog* (Improving the reliability of roads) Moscow, MADI, 2020, 158 p.
7. Ishchenko M.A., Perepelica P.V., Turdakov S.V. *Nauka i obrazovanie v sociokul'turnom prostranstve sovremennogo obshchestva: sbornik nauchnyh trudov*, Kuban State Technological University, 2019, pp. 51-53.
8. Saharov I.S., Gorelysheva L.A. *Dorogi i mosty*, 2015, no 1 (33), pp. 279-284.

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