



УДК 620.169.2

Гайфутдинов Рустем Флюсович

заместитель начальника отдела лабораторного контроля

E-mail: 9600872235@mail.ru

ГКУ «Главтатдортранс»

Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75

Хафизов Эдуард Радикович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: hafizov@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Апробация существующих методов оценки износостойкости щебня на примере каменных материалов, используемых в Республике Татарстан

Аннотация

Постановка задачи. Целью данного исследования является обзор различных методов оценки износостойкости каменных материалов, существующих на сегодняшний день, и используемых в дорожном строительстве. При этом следует дать оценку износостойкости материалов, используемых местными дорожно-строительными организациями в Республике Татарстан.

Результаты. Анализ основных методов исследования износостойкости щебня: Микро-Деваль, Nordic test и полочный барабан – показал взаимосвязь между методами Микро-Деваль и Nordic test. Была выявлена зависимость показателя износа от генезиса пород. Получены данные по показателям износа данными методами для каменных материалов различных карьеров и пород, используемых местными организациями в Республике Татарстан.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли состоит в возможности ориентирования при выборе каменного материала для строительства покрытий автомобильных дорог. Оценка существующих методов оценки износостойкости щебня позволит упростить изыскания и поможет в дальнейшем нормативном регулировании данного вопроса

Ключевые слова: каменные материалы, износостойкость, автомобильные дороги, Nordic test, Микро-Деваль, полочный барабан.

Введение

Вопросы поддержания надлежащего качества дорожно-транспортной сети являются первостепенными, как в условиях крупных регионов Российской Федерации, так и в условиях мелких.

К примеру, в Республике Татарстан к 2019 году выделено на поддержание программ дорожно-строительных работ около 30 млрд. руб. Высокие объемы финансирования сохраняются на протяжении нескольких лет. Это влечет за собой закономерные требования по повышению уровня качества изысканий при проектировании дорожных одежд, что актуально в крупных населенных пунктах с высокими интенсивностями движения.

Одной из важнейших проблем дорожно-транспортного хозяйства является поддержание транспортно-эксплуатационного состояния покрытия на протяжении всего срока службы автомобильной дороги. Наиболее трудно прогнозируемым дефектом проезжей части является колей износа [1-3]. В настоящее время в нормативной базе Российской Федерации не существует достаточно полного документального обоснования данной проблемы, за исключением некоторых предварительных национальных стандартов.

Согласно исследованиям улично-дорожной сети г. Казани было выявлено, что на многих объектах с высокой интенсивностью движения отсутствует пластическая деформация покрытия, а преобладающее значение в возникновении дефектов проезжей части имеет износ покрытия в результате истирания.

Износ покрытия не только негативно сказывается на качестве автомобильной дороги. Данный процесс влечет за собой образование пыли и более крупных частиц материалов асфальтобетона. Данный факт был доказан некоторыми Российскими исследованиями [4, 5].

Исследования зарубежных компаний и, в частности, финской компании Saarela говорят о том, что большее внимание стоит уделять качеству минерального заполнителя асфальтобетонных смесей [6-8]. К таким же выводам пришли российские исследования [9]. Так за рубежом для контроля износостойкости щебня был введен метод испытаний Nordic Test.

В Республике Татарстан к местным подрядным организациям были предъявлены дополнительные требования, ограничивающие использование щебня, подверженного износу, на объектах с высокой интенсивностью движения. Так, стало запрещено использование щебня, показывающего показатель износа выше 10,4 % по методу испытания Nordic Test, регулируемого европейским стандартом EN 1097-9 и были предоставлены ориентировочные данные по данному показателю для материалов, используемых местными организациями. Ориентирование на европейские нормы при изыскательных работах распространено на данный момент в Российской Федерации.

В российском законодательстве существовали другие методы определения износостойкости минеральных заполнителей. Это методы испытания на полочном барабане и тест Микро-Деваль. Помимо него существует множество разработок, как, к примеру, динамический пульсирующий метод определения износостойкости щебня [10, 11].

Несмотря на большое разнообразие методов испытаний, нет единой системы оценки износостойкости щебня. В частности, к этому приводит недостаточная развитость данного вопроса и отсутствие опыта.

В связи с этим, в первую очередь перед данным исследованием встает задача изучения показателей износостойкости щебня, полученных разными методами. Необходимо изучить наиболее используемые в данной местности материалы с учетом их генезиса для создания примерной оценки качества каждой из применяемых пород и выявить закономерности, если они есть. Исследования каменных материалов могут дать предварительную примерную оценку качества породы на основе общих данных.

Для решения этих задач были проведены испытания каменных материалов на истираемость различными методами для более полной оценки полученных выводов.

Испытание в полочном барабане

В настоящее время в российской нормативной базе существует ряд стандартов, регулирующих требования к щебню и гравию из горных пород. Это ГОСТы 8267-93 и 32703-2014. Истираемость по ГОСТ 8267-93 или же сопротивление дроблению и износу по ГОСТ 32703-2014 определяют по потере массы зерен при испытании пробы в полочном барабане с шарами. Согласно ГОСТ 8267-93, данный метод производится согласно п. 4.10. ГОСТ 8269.0-97. Согласно ГОСТ 32703-2014 данное испытание производится по ГОСТ 33049-2014. Данный метод широко применялся на протяжении десятков лет на территории Советского Союза и зарекомендовал себя, как общепринятый метод оценки износостойкости щебня.

Суть метода заключается в том, что в барабане, длиной 500 мм и диаметром 700 мм происходит вращение навески каменного материала и абразивной нагрузки – стальных шаров, диаметром 48 мм и массой 405 гр каждый. При этом на внутренней стенке барабана находится стальная полка, шириной 100 мм. Испытание происходит при частоте вращения 30-33 об/мин и заканчивается при достижении 500 оборотов или, если происходит испытание фракции 20-40 по п. 4.10 ГОСТ 8269.0-97 1000 оборотов (рис. 1).

После завершения испытания полученный материал просеивается через контрольное сито малого диаметра и производится подсчет потери массы для оценки износостойкости щебня.



Рис. 1. Полочный барабан (иллюстрация авторов)

По ГОСТ 33049-2014 требования к установке некоторым образом отличаются: длина барабана составляет 497 ± 16 мм и диаметром 708 ± 8 мм, ширина полки на внутренней поверхности барабана составляет 94 ± 6 мм.

Подобным методом испытания является метод Лос-Анджелес, по AASHTO T 96-2, ASTM C 131-01 и EN 1097-2, где испытание происходит на установке Лос-Анджелес.

Установка Лос-Анджелес подобна полочному барабану, однако диаметр барабана равен 711 ± 5 мм, а длина равна 508 ± 5 мм, ширина полки составляет 89 ± 2 мм, т.е., в небольших пределах отличается.

Для каждой из вышеназванных методик испытаний существуют определенные массы испытуемых материалов, абразивных нагрузок и контрольных сит. В качестве используемого метода было выбрано определение истираемости в полочном барабане по п. 4.10. ГОСТ 8269.0-97, как наиболее широко используемый в практике.

Тест Микро-Деваль

Тест Микро-Деваль появился во Франции в 1960-м году. Затем он был принят в качестве стандарта AASHTO Standart TP58-00, «Standart Test Methods for Resistance of Coarse Aggregates to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus».

Многие исследования говорят о том, что испытания с крупной абразивной нагрузкой, вроде испытания на полочном барабане и установке Лос-Анджелес, не дают хороших результатов качества каменного материала, потому что высокая дистанция между большими стальными шарами не позволяет испытывать некоторые частицы инертного материала в испытательном барабане. Были проведены тесты, показывающие состоятельность метода Микро-Деваль для использования в дорожном строительстве.

В российском законодательстве данный метод представлен в ГОСТ 33024-2014.

Суть метода заключается в том, что в стальном барабане с гладкими стенками, диаметром 200 ± 1 мм и длиной 154 ± 1 мм, происходит вращение каменного материала и стальных шаров, диаметром $10 \pm 0,5$ мм и общей массой 4500 гр. Вращение происходит в воде, которая в количестве $2,5 \pm 0,05$ л вливается в барабан (рис. 2). В процессе испытания барабан вращается с частотой 100 ± 5 об/мин. По истечении 12000 ± 10 оборотов испытание прекращается.

Мерную пробу соединяют со стальными шарами и загружают в барабан. Общая масса мерной пробы вместе со стальными шарами должна составлять 5 кг. Затем в барабан заливают 2,5 литра воды. Затем его закрывают и устанавливают в испытательную установку. По истечению заданного времени щебень извлекают.

После завершения испытания полученный материал промывается через контрольное сито диаметром ячеек 1,6 мм и производится подсчет потери массы для оценки износостойкости щебня.



Рис. 2. Установка Микро-Деваль ТА-0620 (иллюстрация автора)

Nordic test

За рубежом повсеместно используется метод испытания каменных материалов, называемый испытанием в шаровой мельнице, так же называемый «Nordick test» или же «Скандинавское испытание» (рис. 3).



Рис. 3. Испытательная установка КМ-1 для испытания Nordic test (иллюстрация авторов)

Аналогично тесту Микро-Деваль данный тест направлен на более детальное исследование каменных материалов, в сравнении с более грубыми методами, каким является метод Los Angeles.

В российском законодательстве данный метод испытаний не задокументирован, однако в ряде организаций используется европейский стандарт EN 1097-9.

Суть метода заключается в том, что в барабане, диаметром $206,5 \pm 2,0$ мм и длиной 335 ± 1 мм, на внутренней поверхности которого находятся три ребра шириной 8 мм, происходит вращение испытательного материала фиксированного объема 377 см^3 , абразивной нагрузки в виде стальных шаров диаметром $15,0 + 0,1-0,5$ мм, массой 7000 ± 10 гр и $2 \pm 0,01$ л воды.

Отличием данного метода от прочих рассматриваемых, является переменная масса испытуемого материала. Испытания требуют фиксированного объема материала.

Вращение в барабане происходит с частотой 90 ± 3 об/мин. По истечении 5400 ± 10 оборотов испытание прекращают. Испытуемый материал извлекают из барабана и после удаления частиц меньше 2 мм и просушиванию определяют потерю массы в процентах.

Исследуемые материалы

В данной работе были рассмотрены каменные материалы с различных карьеров, которые применяются подрядными организациями Республики Татарстан при производстве дорожно-строительных работ. На данных карьерах добываются породы различного генезиса. Среди интрузивных пород: габбро, габбро-диабаз, диорит, габбро-диорит, перидотит, пироксенит, горнблендит; эффузивных: порфирит; метаморфических: серпентит; осадочного происхождения: доломит, известняк.

Анализ полученных данных

В таблице приведены средние результаты измерений потерь массы для пород с различных карьеров.

Таблица

Результаты измерений истираемости каменных материалов

| Карьер | Потеря массы в результате испытания, %. | | | Характеристика породы |
|---|---|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | Nordic test (EN 1097-9) | Микро-Деваль (ГОСТ 33024-2014) | Полочный барабан (ГОСТ 8269.0-97) | |
| «Гумбейский» | 6,4 | 5,2 | 9,2 | гранодиорит, гранит |
| «Щелейка» | 6,6 | 5,8 | 7,3 | габбро, габбро-диабаз |
| «Западно-Каккаровский» | 7,4 | 5,7 | 7,2 | габбро-диабаз |
| «Сангалык» | 8,7 | 7,4 | 5,2 | габбро-диорит |
| «Бердяуш» | 11,5 | 9,1 | 11,8 | гранит, габбро-диабаз |
| «Орский» | 11,0 | 6,8 | 6,1 | габбро-диабаз |
| «Ураласбест» | 13,4 | 8,8 | 7,8 | перидотит, серпентит, диорит, габбро |
| «Качканар» | 13,6 | 8,6 | 14,8 | пироксенит, габбро, порфирит |
| «Дубровка» (Тимофеевское месторождение) | 13,9 | 11,0 | 9,8 | порфирит |
| «Миньяр» | 17,8 | 12,8 | 17,2 | доломит, известняк |
| «Сатка» | 17,4 | 8,8 | 13,2 | габброиды |
| «Биянка» | 19,9 | 14,8 | 16,5 | доломит |
| «Первоуральский» | 23,1 | 16,8 | 9,2 | габбро, горнблендит |
| «Геоинвест» (первый пласт) | 18,1 | 13,2 | 17,6 | габбро |
| «Геоинвест» (второй пласт) | 13,5 | 11,1 | 7,0 | габбро |
| «Кушвинский» | 26,4 | 21,2 | 25,1 | порфирит |

4 карьера из представленных отвечают требованиям, предъявляемым к местным подрядным организациям в Республике Татарстан. 9 карьеров отвечают требованиям для марок по истираемости МД-1 по ГОСТ 33024-2014 и 14 карьеров из 15 имеют марку И1 по ГОСТ 8267-93. Очевидно, что рассматривать в качестве общепринятого метода определения сопротивления каменных материалов износу наиболее целесообразно первый метод, как более строгий.

Наблюдалась корреляция между генезисом пород и величиной потери массы при использовании всех трех испытаний. Так наибольшая потеря массы наблюдалась у изверженных пород эффузивного типа (порфирит) карьера «Кушвинский». Породы осадочного происхождения показали более хорошие результаты, однако наиболее высокой износостойкостью характеризовались изверженные породы интрузивного типа.

Но подобные по генезису породы могут показывать различные оценки износостойкости, как это видно на примере карьера «Геоинвест» по добыче габбро. Незначительные изменения в петрографическом составе пород в пределах двух соседних заделов повлияли на показатели износостойкости. Так испытание первой пробы материала показала потерю массы при испытании Nordic test 18,1 %, а второй 13,5 %. Данный пример свидетельствует о том, что испытание износостойкости щебня необходимо производить на регулярной основе при каждом приемо-сдаточном контроле материала.

При оценке результатов данных методов была выявлена зависимость между потерями массы при испытании по методу Nordic test и Микро-Деваль. На рис. 4 изображены результаты испытаний 35 материалов различных пород. При этом выявлена аппроксимационная зависимость в пределах между потерями массы по Nordic test от 5 до 27 %, выраженная полиномом третьей степени:

$$y = 0,0017x^3 - 0,0651x^2 + 1,3563x - 1,0239, \quad (1)$$

где y – потеря массы при испытании по методу Микро-Деваль;

x – потеря массы при испытании по методу Nordic Test.

При этом величина достоверности аппроксимации составляет 0,9092, что говорит об удовлетворительной степени достоверности. С учетом этого можно утверждать о том, что эти два метода могут быть взаимозаменяемы.

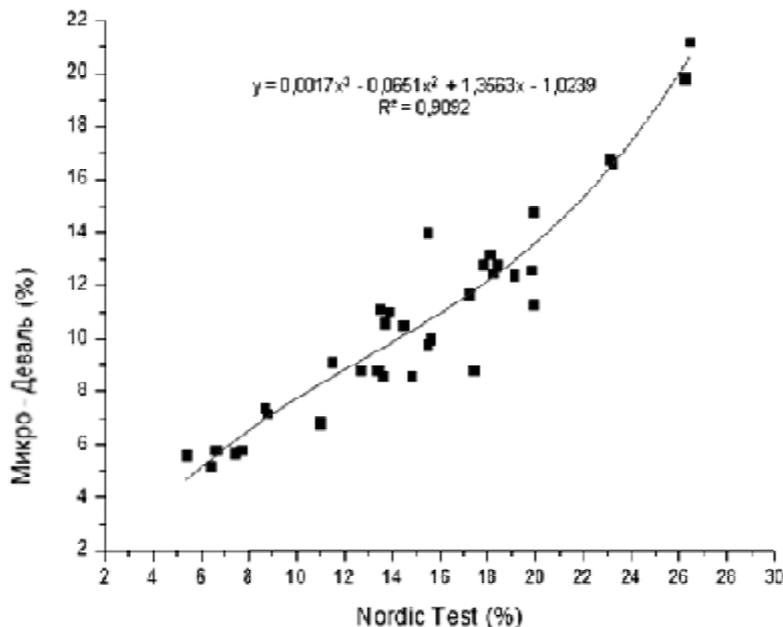


Рис. 4. Аппроксимационная зависимость между результатами тестов Nordic Test и Микро-Деваль (иллюстрация авторов)

Зависимость результатов потерь массы при испытании на полочном барабане между методами Микро-Деваль и Nordic Test не обнаружена. Это говорит о том, что данный метод не дает единой оценки износостойкости инертных материалов и допустим лишь при дублировании двумя другими методами испытаний.

Заключение

Впервые была исследована износостойкость каменных материалов, используемых дорожно-строительными организациями Республики Татарстан, а также оценена корреляция между методами Nordic test и Микро-Деваль (1).

Исследование наиболее распространенных каменных материалов позволит ориентироваться дорожно-строительным организациям при выборе той или иной породы или карьера для различных целей. Было выявлено, что не стоит при выборе ориентироваться лишь на генезис или же результаты прошлых испытаний, так как показатели износостойкости могут варьироваться в пределах одного месторождения.

Сравнение используемых методов при оценке износостойкости щебня показало корреляцию между методами Nordic test и Микро-Деваль. Это позволяет утверждать, что при составлении законодательных требований к материалам нет необходимости использовать оба метода оценки и сократить количество испытательных машин и время оценки материала.

Так же было выявлено, что использование общепринятого метода оценки износостойкости щебня по методу испытания в полочном барабане не отвечает

современным повышенным требованиям к материалам, что подтвердило выводы предыдущих исследований в этом направлении.

Список библиографических ссылок

1. Конорева О. В., Муравьев Ю. А. Анализ современных методов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к колееобразованию // IVDON.RU : электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2016. № 4. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_31_Konoreva_Muravev.pdf_967f9d1a60.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
2. Лугов С. В., Каленова Е. В. Возможности расчётной оценки износа покрытий при прогнозировании колееобразования // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2013. № 4 (35). С. 53–59.
3. Леднев А. В. Анализ факторов, влияющих на износостойкость асфальтобетона // IVDON.RU : электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2018. № 1. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_78_lednev.pdf_dffa3ad255.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
4. Васильев Ю. Э., Ивачев А. В., Братищев И. С. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным // NAUKOVEDENIE.RU : интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 5 (24). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf> (дата обращения: 25.10.2019).
5. Леванчук А. В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных дорог // NAUKOVEDENIE.RU : интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 1 (20). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/102TVN114.pdf> (дата обращения: 27.10.2019).
6. Hannele Zubeck, Lynn Aleshire, Susan Harvey, Stan Porhola, Eric Larson. Socio-economic effects of studded tire use in Alaska. Final report // University of Alaska Anchorage. 2004. URL: http://dot.alaska.gov/stwddes/research/assets/pdf/stud-tire_socioecon.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
7. Brynhild Snilsberg, Rabbira Garba Saba, Nils Uthus. Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate // 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 2016. Prague, Czech Republic.
8. Jason P., Tremblay M. S., Jennifer M. V., Fitch P. E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602, February, 2011.
9. Фомин А. Ю., Хозин В. Г. Новые серосодержащие материалы для дорожного строительства // Строительные материалы. 2016. № 12. С. 80–82.
10. Kolos A., Konon A., & Chistyakov P. Change of ballast strength properties during particle abrasive wear // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. P. 908–915.
11. Fisher S., Nemeth A. Special laboratory testing method for evaluation particle breakage of railway ballast material. Наука та прогрес транспорту. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту 2018. № 2 (74). P. 87–97.

Gayfutdinov Rustem Flyusovich

deputy head of laboratory control department

E-mail: 9600872235@mail.ru

SPI «Glavtatdortrans»

The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevskij st., 18/75

Hafizov Eduard Radikovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: hafizov@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Aprobation of existing methods for assessing the wear resistance of crushed stone by the example of stone materials used in the Republic of Tatarstan

Abstract

Problem statement. The purpose of this study is to review various methods for assessing the wear resistance of stone materials that exist today and are used in road construction. At the same time, it is necessary to assess the wear resistance of materials used by local road-building organizations in the Republic of Tatarstan.

Results. An analysis of the main methods for studying the wear resistance of crushed stone: Micro-Deval, Nordic test and shelf drum – showed the relationship between the Micro-Deval and Nordic test methods. The dependence of the wear indicator on the genesis of the rocks was revealed. Obtained data on wear indicators using these methods for stone materials of various quarries and rocks used by local organizations in the Republic of Tatarstan.

Conclusion. The significance of the results obtained for the construction industry consists in the possibility to navigate when choosing stone material for the construction of road coatings. Evaluation of existing methods for assessing the wear resistance of crushed stone will simplify the survey and will help in further regulatory regulation of this issue.

Keywords: aggregates, abrasion resistance, roads, Nordic test, Micro-Deval, shelf drum.

References

1. Konoreva O.V., Muravev Yu. A. Analysis of modern methods for increasing the resistance of asphalt concrete pavements to rutting // IVDON.RU : electronic science journal «Inzhenernyj vestnik dona». 2016. № 4. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_31_Konoreva_Muravev.pdf_967f9d1a60.pdf (reference date: 20.10.2019).
2. Lugov S. V., Kalenova E. V. Possibilities of the estimated assessment of coating wear when forecasting rutting // Vestnik moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2013. № 4 (35). P. 53–59.
3. Lednev A. V. Analysis of factors affecting the wear resistance of asphalt concrete // IVDON.RU : electronic science journal «Inzhenernyj vestnik dona». 2018. № 1. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_78_lednev.pdf_dffa3ad255.pdf (reference date: 20.10.2019).
4. Vasilev Yu. E., Ivachev A. V., Bratishhev I. S. Study of the stability of road-building materials to wear rutting under conditions close to operational // NAUKOVEDENIE.RU : internet-journal «Naukovedenie». 2014. № 5 (24). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf> (reference date: 25.10.2019).
5. Levanchuk A. V. Environmental pollution by products of road wear // NAUKOVEDENIE.RU : internet-journal «Naukovedenie». 2014. № 1 (20). URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/102TVN114.pdf> (reference date: 27.10.2019).
6. Hannele Zubeck, Lynn Aleshire, Susan Harvey, Stan Porhola, Eric Larson. Socio-economic effects of studded tire use in Alaska. Final report // University of Alaska Anchorage. 2004. URL: http://dot.alaska.gov/stwddes/research/assets/pdf/stud-tire_socioecon.pdf (дата обращения: 20.10.2019).
7. Brynhild Snilsberg, Rabbira Garba Saba, Nils Uthus. Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate // 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 2016. Prague, Czech Republic.
8. Jason P., Tremblay M. S., Jennifer M. V., Fitch P. E. Impacts of Studded Tires on Pavement and Associated Socioeconomics Final Report // Federal Highway Administration Division Office Federal Building Montpelier, VT 05602, February, 2011.
9. Fomin A. Yu., Khozin V. G. New sulfur-containing materials for road construction // Stroitelnye materialy. № 12. 2016. P. 80–82.
10. Kolos A., Konon A., & Chistyakov P. Change of ballast strength properties during particle abrasive wear // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. P. 908–915.
11. Fisher S., Nemeth A. Special laboratory testing method for evaluation particle breakage of railway ballast material // Science and progress of transport. Vestnik DNUJT // 2018. № 2 (74). P. 87–97.