

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.9>

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СОПРЯЖЕНИЯ ЖЕСТКОЙ И НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Научная статья

Чёлушкин И.А.^{1,*}, Бургутдинов А.М.²

¹ORCID : 0000-0002-1695-5819;

¹ Научно-промышленное объединение «Стрим», Самара, Российская Федерация

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (freight-86[at]mail.ru)

Аннотация

На участках сопряжения жесткой и нежесткой дорожной одежды в процессе приложения многократной нагрузки возникают остаточные напряжения в конструкции, вызывающие образование мульд. Данное явление не относится к существенным дефектам дорожного покрытия, однако отрицательно сказывается на комфорте при движении. Проблема актуальна не только в нашей стране, но и за ее пределами, а значит, связана не столько с культурой производства, сколько основывается на внутренних физических процессах, происходящих в самом участке сопряжения, при воздействии сил от проезжающего колеса. Проблема была рассмотрена в опубликованных ранее статьях. Для применения в конструктивных слоях дорожной одежды, необходимо соответствие устроенной конструкции дорожной одежды требованиям действующих методик и стандартов.

Ключевые слова: плавное сопряжение, проектирование, конструирование, расчет дорожной одежды.

DESIGN AND CALCULATION OF RIGID AND NON-RIGID ROADWAY PAVEMENT COUPLING

Research article

Chyolushkin I.A.^{1,*}, Burgonutdinov A.M.²

¹ORCID : 0000-0002-1695-5819;

¹ Scientific and Industrial Association "Stream", Samara, Russian Federation

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

* Corresponding author (freight-86[at]mail.ru)

Abstract

At the coupling sections of rigid and non-rigid pavements, residual stresses in the structure occur during the application of repeated loads, causing the formation of a mould. This phenomenon does not refer to significant defects of the road surface, but it negatively affects the comfort of driving. The problem is relevant not only in our country, but also abroad, which means that it is not so much associated with the culture of production, but is based on the internal physical processes occurring in the interface section itself, under the influence of forces from the passing wheel. The problem has been addressed in previously published articles. In order to be used in the structural layers of pavements, it is necessary that the constructed pavement structure complies with the requirements of current methods and standards.

Keywords: smooth coupling, design, construction, pavement calculation.

Введение

При эксплуатации автомобильных дорог на участке подхода от нежесткой к жесткой дорожной одежде образуются мулды покрытия. Изучение причины явления данной просадки не освещено в той мере, при которой имеется четкое представление о природе возникновения мулды и ее решения. Из-за локального участка распространения, эксплуатирующими службами данная просадка не воспринимается как дефект. И через несколько лет эксплуатации на месте просадки образуется яма, более того происходит это задолго до истечения срока службы верхнего слоя. Практически все участки с плавным сопряжением на участках с переходными плитами – либо вновь устроенные, либо восстановленные после просадок.

Целью исследования является разработка покрытия дорожной одежды, исключающей просадку на подходах в дорожной одежде искусственного сооружения. Для решения задач данной проблемы были проведены исследования по выявлению сил и напряжений, возникающих от колеса автомобиля, вызывающие упругие деформации в нежесткой дорожной одежде. На участке сопряжения, упругие напряжения нежесткой дорожной одежды переходят в напряжения изгиба жесткой дорожной одежды, и ввиду практического отсутствия модуля упругости у последних, вектор силы резко изменяют абсолютную величину и направление.

Элемент основания конструкции сопряжения жесткой и нежесткой дорожных одежд автомобильной дороги разработан для сопряжения обоих видов дорожных конструкций – жесткой и нежесткой, при строительстве, капитальном ремонте подходов к мостам, путепроводам. Конструкция предназначена для восприятия сил от асимметричных нагрузок, вызываемых при проезде автомобиля на участке от нежесткой к жесткой дорожной одежде. Ввиду отсутствия методики определения осадки конструкции дорожной одежды как такового, так и вычисления просадок во времени, первоначально расчет мулды вычислял в программе Plaxis. Программный комплекс Plaxis основывается на характеристиках модуля деформации материалов. И расчет конструкции дорожной одежды на прочность осуществлялся по типовым расчетам с учетом данные регионального научно-практического опыта (в том

числе в части применения местных материалов, уточнения расчетных значений характеристик и т.д.) [1]. Но в первом квартале 2023 года основополагающий документ по расчету конструкций нежестких дорожных одежд был отменен [2].

Основные результаты

При вычислении сил, возникающих от колесной нагрузки, а также направления изгибающего момента при приближении к жесткой дорожной одежде, распределение сил осуществляется путем их приложения к балке, по законам теоретической механики. При движении от подхода к устою моста, величина нагрузки, выраженная в общем крутящем моменте контрольных точках, меняет направление действия, и от точки переходит в отрицательную составляющую вычисляемого крутящего момента.

Для разработки конструкции дорожной одежды, было обращено внимание в поисках решения распределения различных и разнонаправленных нагрузок, вызываемых движением автотранспорта. Это шинная промышленность, а модель – ассиметричные шины, которые создаются для использования на всех типах дорог, не зависимо от вращения колеса. Но интересны не сам состав резиновой смеси, а присущие протектору покрышки разные функциональные свойства. При разностороннем вращении нагрузку воспринимает силовой каркас, и наиболее выгодным его переплетением, ориентированным вдоль беговой дорожки колеса, будет являться значение угла, синус которого максимально приближен к 1/2. В случае воздействия силы в продольном направлении относительного одного каркаса, за счет конструкции сплетения на второй корд будут передаваться касательные напряжения.

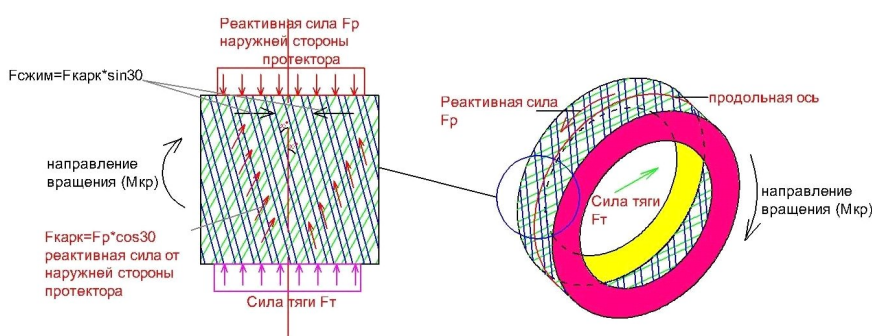


Рисунок 1 - Схема плетения корда покрышки и распределение сил
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.9.1>

На рис. 1 отображена схема расположения нитей силового каркаса в покрышке с ассиметричным рисунком протектора. В конструкции шины имеется достаточное число разработок, реализация которых позволяет колесу автомобиля в целом находится в работоспособном состоянии, принимать деформации без критических остаточных деформаций. Одно из таких решений, которые необходимо осветить – работа шины в пятна контакта. Колесо автомобиля приводится в движении благодаря передаче крутящего момента от силовой установки автомобиля. В пятне контакта возникает усилие – реакция на воздействие – имеющее направление в обратную сторону от действия прилагаемого усилия для движения колеса. Силовой корд покрышки, смонтированный под углом 30° относительно плоскости вращения колеса, передает на каркас последнего реактивную равнодействующую силу, с вектором направления параллельным оси вращения. Данное технологическое решение снижает нагрузки на нити каркаса, а угол ассиметрии позволяет компенсировать сдвиговые и касательные нагрузки. Необходимая жесткость шины обеспечивается поперечной силой с нормальными напряжениями. Избыточная сила компенсируется через фрикционные силы – $F_{\text{трения}}$, $F_{\text{трения покоя}}$, а также изгибом шашек протектора, эластичностью ламелей. Львиная доля гашения указанных сил при вращении колеса обеспечивается за счет силы трения скольжения в пятне контакта с дорогой.

Рассчитав конструкцию дорожной одежды между подходом и устоем искусственного сооружения, основываясь на гипотезе, что на всем протяжении конструкции дорожной одежды изменяется не только $E_{\text{упругости}}$, но она становится восприимчивой к изменению вектора направления прилагаемой силы в связке с ее переменной величиной. Расчет конструкции предполагался с укреплением геосинтетическим материалом. Но в отличие от движущихся объектов, в циклической схеме, расчетные силы которых создают баланс и гасят друг друга, создавая устойчивую к деформациям конструкцию, а возникающие внешние воздействия сил затухают за счет кратковременного смещения в пространстве и упругих деформаций материала (например, вышеописанное колесо автомобиля в пятне контакта, или летящий самолет относительно воздушных масс), то при рассмотрении конструкции дорожной одежды перемещение относительно сопрягаемых конструкций ограничено, и высвободить энергию через взаимодействие сил из-за возникающих временных и постоянных нагрузок затруднительно. Этот эффект и приводит к образованию просадки на подходах к устоям.

Чтобы уменьшить данный эффект, запроектирована система во взаимосвязи восприятия нормальных напряжений плотным грунтом или бетоном, а касательные напряжения гасились в растягивающие усилия, воспринимаемые геосинтетическим материалом (см. рис. 2).

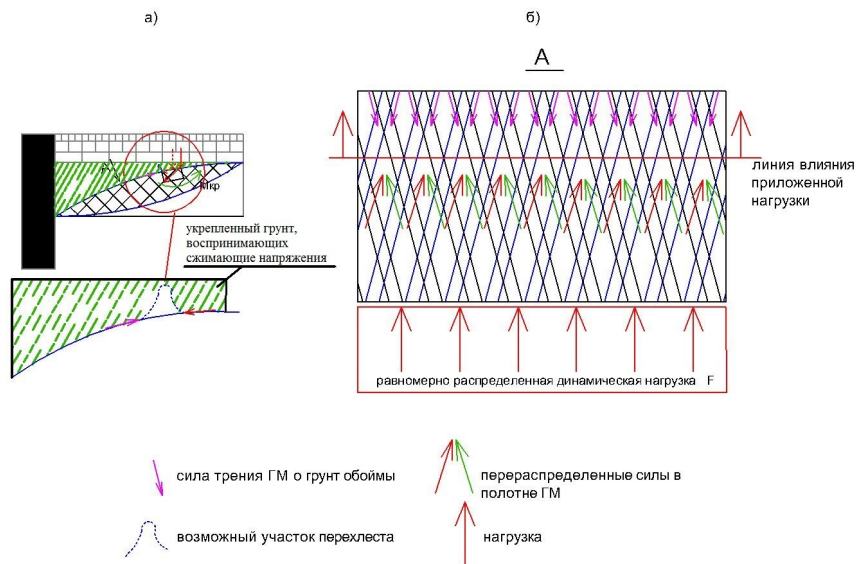


Рисунок 2 - Конструкция дорожной одежды на подходе к устью искусственного сооружения (а) и распределение напряжений (б)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.9.2>

Конструирование участка сопряжения жесткой и нежесткой дорожных одежд производилось по напряженно-деформируемому состоянию, и рабочая схема указана на рис. 3.

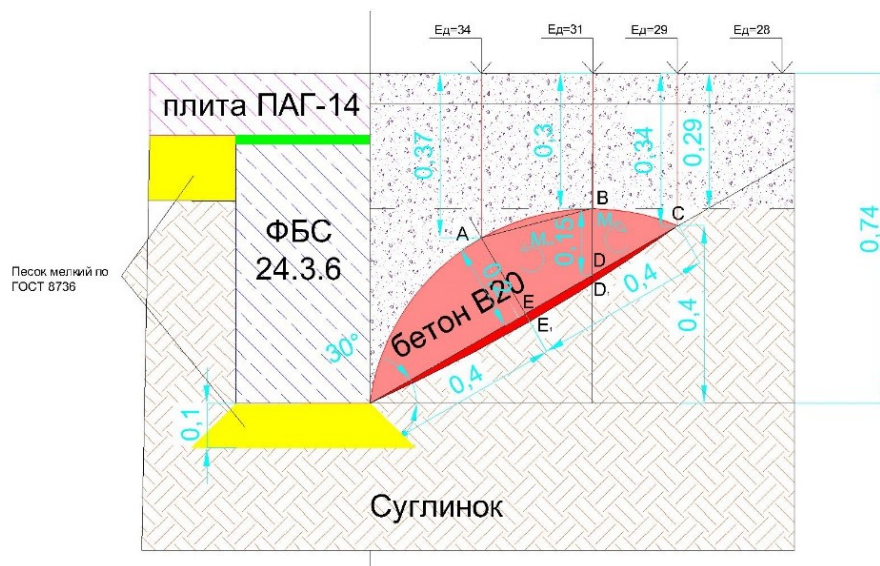


Рисунок 3 - Конструкция дорожной одежды участка на подходе к искусственному сооружению

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.9.3>

В настоящее время для расчета конструкции дорожной одежды используется методики, указанной в ПНСТ 542 [3] для высококатегорийных дорог, а также дорог в населённых пунктах по упругому состоянию. Для дорог с низкой интенсивностью движения был разработан ПНСТ 371-2019 [4], а впоследствии утвержден ГОСТ 58818 [5]. Особенностью методики конструирования и расчета низкоинтенсивных дорог является возможность применения связных материалов, грунтов в качестве покрытия и конструктивных расчетов по модулям деформации данных материалов, не по модулям упругости.

Другим результатом вычислений по методике расчёта конструкции дорожной одежды для дорог с низкой интенсивностью движения является отсутствие жестких требований при применении материалов, обработанных

неорганическими вяжущими, по укладке определенной толщины вышележащих слоев асфальтобетона и материалов, содержащих органическое вяжущее, для ограничения появления «отраженных» трещин в слоях из асфальтобетона.

Для подсчета распределения напряжений по выявленным в процессе расчета нагрузкам был использован программным комплекс Plaxis для вычисления параметров сдвига и напряжений в области поставленной задачи (см. рис. 4).

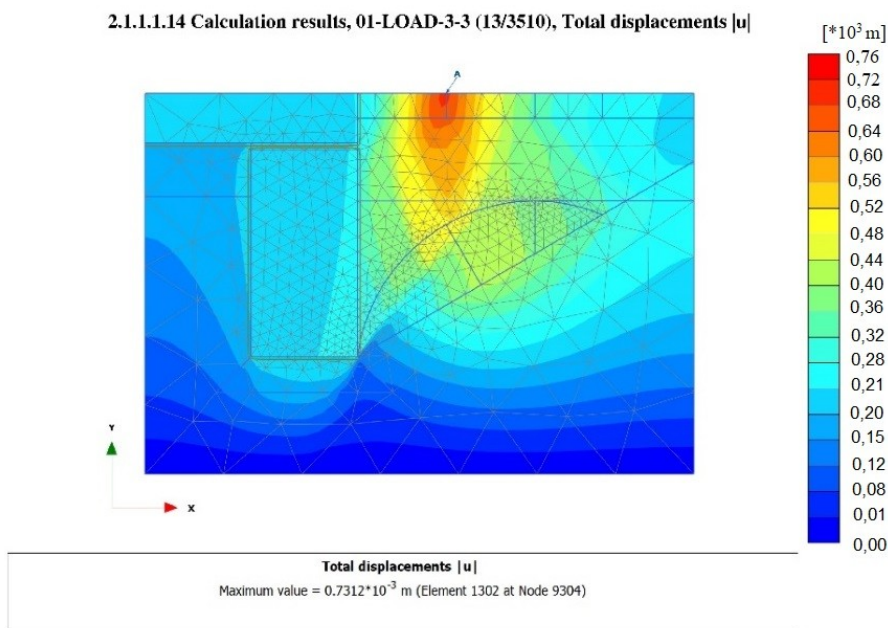


Рисунок 4 - Результат расчета в ПК Plaxis
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.9.4>

Расчет конструкции участка сопряжения производился в программном комплексе Indor Pavement по методике расчета дорожных одежд для дорог с низкой интенсивностью движения (см. рис. 5).

Исходные данные					
Название объекта	Автомобильная дорога				
Район проектирования	Пермский край				
Выполняемые расчёты	На упругий прогиб, морозоустойчивость				
Техническая категория дороги	IV категория	Схема увлажнения	Схема 3		
Тип дорожной одежды	Переходный	Коэффициент уплотнения грунта	0,98		
Число полос движения (в обе стороны)	2	Требуемый поверхностный модуль упругости, МПа	27		
Номер расчётной полосы от обочины	1	Расчётное количество дней в году Трдг	135		
Расчётная влажность грунта W_p	0,70	Срок службы между кап. ремонтами Тсл, лет	5		
Нагрузка, кН / Давление, МПа / D штампа, см	100 / 0,60 / 33	Глубина промерзания дорожной конструкции, м	2,76		
Заданная надёжность K_n	0,82				
Дорожно-климатическая зона	II - подзона 2				

№ варианта	Наименование слоев и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль деформации на поверхности слоев, МПа	Упругий прогиб, МПа	Морозоустойчивость
Вариант № 1 (оптимальный)	1. Покрытие — Смеси щебёночно-гравийно-песчаные и крупнообломочные грунты (неоптимальные) обработанные эмульсиями органическими вяжущими или вяжущими, в том числе эмульгированными		Еобщ = 34	Ед = 120 Ктр = 1,050 Красч = 1,270 Запас = 21%	
	Грунт земляного полотна — Суллинок тяжёлый пылеватый		Еобщ = 8	Ед = 8	Лдоп = 10 см Ллуч = 9 см Запас = 1 см

Рисунок 5 - Результат расчета в ПК Indor Pavement
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.9.5>

Результаты проделанной работы заключаются в следующем:

1. Изучена причинно-следственная связь образования муьды покрытия на стыке сопряжения жесткой и нежесткой дорожных одежд. Крутящий момент, передаваемый от колеса на покрытие изменяет знак нагрузки с положительной эпюры на отрицательную в конструкции дорожной одежды – нагрузка как бы входит в «завихрение» на стыке двух типов дорожных одежд. Изменение направления вектора происходит в непосредственной близости стыка дорожных одежд жесткой и нежесткой, что лежит в первопричине образования муьды покрытия нежесткой дорожной одежды;

2. Причиной образования муьды покрытия являются сами же нагрузки от колеса движущегося автомобиля в диапазоне изменений динамики. Нагрузки при разгоне автомобиля имеют не только различную силу тяги на колесе, но и различный вектор направления;

3. Доказана эффективность представленной конструкции дорожной одежды для сопряжения жесткой и нежесткой дорожных одежд для предотвращения образования муьды, с учетом произведенных расчетов по уточненным первичным нагрузкам;

4. Приведены расчеты конструкции дорожной одежды в программных комплексах по критериям прочности, как для статических, так и динамических нагрузок и систем расчета.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Мишкин Д.В., Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.9.6>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Mishkin D.V., Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.9.6>

Список литературы / References

1. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. — Введ. 2001-01-01. — Москва: Государственная служба дорожного хозяйства министерства транспорта Российской Федерации, 2001
2. Российская Федерация. О признании не подлежащими применению отраслевых дорожных норм : Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 13 февраля 2023 г. № ВИ-26-р // Министерство транспорта РФ. — URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/12362?type=> (дата обращения: 16.06.2023).
3. ПНСТ 542-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. — Введ. 2021-06-01. — Действ. до 2024-06-01. — Москва: Стандартинформ, 2021.
4. ПНСТ 371-2019. Дороги автомобильные общего пользования с низкой интенсивностью движения. Дорожная одежда. Конструирование и расчет. — Введ. 2020-03-01. — Действ. до 2023-03-01. — Москва, Стандартинформ, 2019.
5. ГОСТ Р 58818-2020. Дороги автомобильные с низкой интенсивностью движения. Проектирование, конструирование и расчет. — Введ. 2020-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2020.
6. Кулижников А.М. Межгосударственные стандарты по изысканиям и проектированиям автомобильных дорог / А.М. Кулижников // Дороги России XXI века. — Специальный выпуск № 2.
7. Симчук Е.Н. Развитие базы нормативных документов по геосинтетическим материалам, применяемым в дорожном строительстве / Е.Н. Симчук [и др.] // Дороги России XXI века. — 2016. — № 6(96).
8. Trzesniowski M. Rennwagentechnik / M. Trzesniowski. — Graz: Springer Verlag, 2014. — 873 S.
9. Чёлушкин И.А. Проведение эксперимента по выявлению просадок на сопряжении жесткой и нежесткой дорожных одежд / И.А. Чёлушкин // Наукоедение. — 2015. — Т. 7. — № 6. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/13KO615.pdf> (дата обращения: 16.06.2023). — DOI: 10.15862/13KO615.
10. Chelushkin I. Theoretical and Experimental Research Model of Junctioning Rigid and Non-Rigid Road Pavement / I. Chelushkin // New Approaches in Engineering Research. — 2021. — Vol. 14. — P. 125-134. — DOI: 10.9734/bpi/naer/v14/12995D.

Список литературы на английском языке / References in English

1. ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd [Industry Road Norms for Design of Non-Rigid Road Pavements]. — Introduced 2001-01-01. — Moscow: State Road Service of the Ministry of Transport of the Russian Federation, 2001. [in Russian]
2. Rossijskaja Federacija. O priznanii ne podlezhashhimi primeneniju otraslevykh dorozhnykh norm [On the Recognition of Sectoral Road Norms Not Subject to Application] : Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated February 13, 2023 № VI-26-r // Ministry of Transport of the Russian Federation. — URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/12362?type=> (accessed: 16.06.2023). [in Russian]
3. PNST 542-2021. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Nezhestkie dorozhnye odezhdy. Pravila proektirovanija [Public Highways. Non-rigid Road Pavements. Design Rules]. — Introduced 2021-06-01. — Valid until 2024-06-01. — Moscow: Standartinform, 2021. [in Russian]
4. PNST 371-2019. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija s nizkoj intensivnost'ju dvizhenija. Dorozhnaja odezhd. Konstruirovanie i raschet [Public Highways with Low Traffic Intensity. Road Pavement. Design and Calculation]. — Introduced 2020-03-01. — Valid until 2023-03-01. — Moscow: Standartinform, 2019. [in Russian]

5. GOST R 58818-2020. Dorogi avtomobil'nye s nizkoj intensivnost'ju dvizhenija. Proektirovanie, konstruirovanie i raschet. — Introduced 2020-07-01. — Moscow: Standartinform, 2020. [in Russian]
6. Kulizhnikov A.M. Mezhhgosudarstvennye standarty po izyskanijam i proektirovanijam avtomobil'nyh dorog [Interstate Standards on Surveying and Design of Motorways] / A.M. Kulizhnikov // Dorogi Rossii XXI veka [Russian Roads of the XXI Century]. — Special issue № 2. [in Russian]
7. Simchuk E.N. Razvitie bazy normativnyh dokumentov po geosinteticheskim materialam, primeniyaemym v dorozhnom stroitel'stve [Development of a Base of Regulatory Documents on Geosynthetic Materials Used in Road Construction] / E.N. Simchuk // Dorogi Rossii XXI veka [Roads of Russia of the XXI Century]. — 2016. — № 6(96). [in Russian]
8. Trzesniowski M. Rennwagentechnik [Racing Car Technology] / M. Trzesniowski. — Graz: Springer Verlag, 2014. — 873 p. [in German]
9. Chelushkin I.A. Provedenie jeksperimenta po vyjavleniju prosadok na soprjazhenii zhestkoj i nezhestkoj dorozhnyh odezhd [Experimentation to Detect Subsidence at the Interface of Rigid and Non-Rigid Pavements] / I.A. Chjolushkin // Naukovedenie [Science Studies]. — 2015. — Vol. 7. — № 6. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/13KO615.pdf> (accessed: 16.06.2023). — DOI: 10.15862/13KO615. [in Russian]
10. Chelushkin I. Theoretical and Experimental Research Model of Junctioning Rigid and Non-Rigid Road Pavement / I. Chelushkin // New Approaches in Engineering Research. — 2021. — Vol. 14. — P. 125-134. — DOI: 10.9734/bpi/naer/v14/12995D.