Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №2, Том 6 / 2019, No 2, Vol 6 <https://t-s.today/issue-2-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/03SATS219.pdf>

DOI: 10.15862/03SATS219 (<http://dx.doi.org/10.15862/03SATS219>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Углова Е.В., Тиратурян А.Н., Роман Е.В., Белоусов Е.С. Определение предельных осевых нагрузок на стадии эксплуатации нежестких дорожных одежд на основе анализа полных диаграмм деформирования // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №2, <https://t-s.today/PDF/03SATS219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/03SATS219

For citation:

Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Roman E.V., Belousov E.S. (2019). Determination of maximum axial loads at the stage of operation of non-rigid pavements based on the analysis of complete deformation diagrams. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/03SATS219.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/03SATS219

УДК 625.7/.8

ГРНТИ 73.31.11

Углова Евгения Владимировна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Заведующая кафедрой «Автомобильные дороги»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: uglova.ev@yandex.ru

Тиратурян Артем Николаевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: tiraturjan@list.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=803524

Роман Евгений Валентинович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистр
E-mail: roman.ievgchienii@mail.ru

Белоусов Евгений Сергеевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Аспирант
E-mail: zhenek-belousov@bk.ru

Определение предельных осевых нагрузок на стадии эксплуатации нежестких дорожных одежд на основе анализа полных диаграмм деформирования

Аннотация. Постановка задачи: Статья посвящена вопросам разработки и экспериментального обоснования возможности определения предельных осевых нагрузок нежестких дорожных одежд на основе, зарегистрированных при ударном нагружении полных диаграмм деформирования.

Результаты: Рассмотрены недостатки существующих нормативных методов определения предельных осевых нагрузок от воздействия транспортных средств на стадии эксплуатации. Отмечается, что определение осевых нагрузок только по коэффициенту прочности, имеет ряд недостатков, связанных с необходимостью наличия информации о проектном значении модуля упругости дорожной одежды, а также с несоответствием существующей нормативной базы проектирования дорог реальным транспортным нагрузкам. Предлагается осуществлять определение предельных осевых нагрузок на основе анализа полных диаграмм деформирования, зарегистрированных при различных величинах динамической нагрузки ударном нагружении. Впервые предложен подход к определению осевых нагрузок, базирующийся на построении кривой в координатах «прирост рассеянной энергии (ΔW) – нагрузка на покрытие (F)», причем в качестве предельной нагрузки, будет выступать нагрузка инициирующая переход от пропорционального увеличения рассеянной энергии при повышении контактной нагрузки, к непропорциональному. Приведен пример определения предельной осевой нагрузки на покрытие дорожной одежды для эксплуатируемого участка автомобильной дороги М4 «ДОН».

Выводы: экспериментально обоснована возможность определения предельных осевых нагрузок на покрытие дорожной одежды, на основе анализа полных диаграмм деформирования, регистрируемых при ударном нагружении на покрытии дорожной одежды. Отмечается необходимость дальнейшего совершенствования и набора базы экспериментальных данных об изменениях предельных осевых нагрузок в различные периоды года.

Ключевые слова: дорожная одежда; технический мониторинг; установка ударного нагружения; диаграммы деформирования; предельная нагрузка; рассеянная энергия; петля гистерезиса

Введение

Одним из важнейших параметров, определяющих долговечность автомобильной дороги, является расчетная нагрузка, устанавливаемая проектировщиком при конструировании и расчете нежесткой дорожной одежды. Данная расчетная нагрузка на текущий момент регламентируется нормативными документами ПНСТ 265-2018 "Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд" и ГОСТ 32960-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения». В этих документах в качестве расчетной нагрузки регламентируется для капитальных дорожных одежд – 115 кН, для дорожных одежд с облегченным и переходным типом покрытия – 100 кН (прочие параметры расчетной нагрузки, т. е. давление на покрытие и диаметр расчетного отпечатка колеса представлены в таблице 1).

Таблица 1

**Расчетные нагрузки на покрытие нежестких
дорожных одежд в соответствии с ПНСТ 265-2018**

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка $R_{ст}$, кН		Расчетные параметры нагрузки	
	на ось	на колесо	Давление на покрытие p , МПа	Диаметр $D_d/D_{ст}$, см
A-10	100	50,0	0,6	37/33
A-11,5	115	57,5	0,8	34/30

Примечание: в числителе приведен диаметр D_d для движущегося колеса, в знаменателе $D_{ст}$ – для неподвижного колеса

Источник: <http://docs.cntd.ru/document/1200158922>

Данные параметры расчетной нагрузки безусловно во многом являются дискуссионными, чему посвящены работы [1–6], однако в данном исследовании

рассматривается вопрос негативного влияния превышении данных нагрузок, выражающегося в значительном сокращении расчетного срока службы дорожных одежд, а также определения предельных значений расчетных нагрузок на этапе эксплуатации автомобильной дороги.

На данный момент определение предельных осевых нагрузок на дорожную одежду осуществляется в соответствии с ОДМ 218.6.002-2010 «Методические рекомендации по определению допустимых осевых нагрузок автотранспортных средств в весенний период на основании результатов диагностики автомобильных дорог общего пользования федерального значения». Данный документ регламентирует определение расчетных осевых нагрузок по итогам инструментального обследования дорожной одежды с определением фактического коэффициента прочности (т. е. отношения фактического общего модуля упругости дорожной одежды к минимальному требуемому общему модулю упругости).

Таблица 2

**Определение расчетной нагрузки на покрытие
дорожной одежды в соответствии с ОДМ 218.6.002-2010**

Коэффициент прочности $K_{пр}$	Допустимая нагрузка $Q_{доп}$, на каждую ось транспортного средства при:		
	одиночной оси, (тс)	двухосной тележке, (тс)	трехосной тележке, (тс)
1,09–1,14	12	10	9
1,05–1,08	11	9	8
1,00–1,04	10	8	7
0,94–0,99	9	7	6
0,88–0,93	8	6	6
0,81–0,87	7	6	5
0,71–0,80	6	5	4
0,60–0,70	5	4	3
0,50–0,59	4	3	3

Источник: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808653.htm>

Анализ данной таблицы показывает, что при значениях коэффициента прочности значительно ниже требуемых исходя из проектной надежности условий (для надежности 0.95 – коэффициент запаса прочности $K_{пр} = 1.3$, для надежности 0.98 – коэффициент запаса прочности $K_{пр} = 1.5$), допускается назначение предельной нагрузки для одиночной оси – 12 т (или 120 кН), которая уже превышает расчетную нагрузку. Аналогично использование данного подхода на наш взгляд нецелесообразно для дорожных одежд с изначально низким общим модулем упругости, которые преобладают на сети автомобильных дорог регионального и местного значения, и для которых назначение подобных нагрузок только исходя из обеспеченности значений коэффициентов прочности, представленных в таблице 2 уже приведет к разрушающему воздействию.

Методы

Определяющим моментом в установлении предельных осевых нагрузок на наш взгляд является анализ механизма работы дорожной одежды при динамическом воздействии [7–10]. Современные установки ударного нагружения типа FWD, используемые для оценки общего модуля упругости на поверхности дорожной одежды, позволяют осуществлять регистрацию полных диаграмм деформирования на поверхности дорожной одежды в координатах нагрузка-перемещение, для нагрузки эквивалентной воздействию одиночного колеса расчетного автомобиля. Физически полная диаграмма деформирования представляет собой динамическую петлю гистерезиса, площадь которой соответствует плотности рассеянной энергии в структуре дорожной одежды, при этом чем меньше площадь петли гистерезиса, тем более функционирование дорожной одежды сдвигается в сторону упругой стадии [11–15].

Увеличение площади динамической петли гистерезиса связано как с процессами деформирования, так и разрушения дорожной одежды и ее конструктивных слоев и эффективно отражает проявление вязкоупругих свойств дорожно-строительных материалов, тепловыделение и происходящие в них процессы трения [16–18].

Рисунок 1. Петля упругого гистерезиса (составлено автором)

Описание конструкции и принципа функционирования установки ударного нагружения FWD подробно рассматривалось ранее в работах [18–20], поэтому в данном исследовании остановимся непосредственно на анализе результатов измерений данной установкой.

На рисунке 2 представлены результаты регистрации петли динамического гистерезиса дорожной конструкции, зарегистрированных установкой FWD при ударном нагружении на участках с нормативным (рис. 2а), удовлетворительным и неудовлетворительным состоянием (рис. 2б, 2в соответственно). В качестве критериев отнесения участков автомобильной дороги к нормативному состоянию выступало отсутствие дефектов на покрытии, а также обеспеченность нормативного значения прочности и продольной и поперечной ровности. Для удовлетворительного состояния допускалось наличие на покрытии некритических дефектов, при обеспеченности нормативных значений вышеприведенных эксплуатационных показателей, а для неудовлетворительного – наличие критических дефектов, таких как сетка трещин по полосам наката, выраженная колейность (> 3 см) и т. д.

а

б

Рисунок 2. Форма петель динамического гистерезиса, зарегистрированных на участках автомобильных дорог с различным эксплуатационным состоянием

Полученные результаты наглядно показывают, что с ухудшением состояния дорожной конструкции, увеличивается площадь петли динамического гистерезиса, а соответственно и плотность рассеянной (диссипируемой) энергии в ее структуре при динамическом нагружении. Так для участка, находящегося в нормативном состоянии плотность энергии (W) составляет $W = 6.59 \text{ Дж/м}^3$, для участка в удовлетворительном состоянии – $W = 12.09 \text{ Дж/м}^3$, а для участка в неудовлетворительном состоянии – $W = 26.25 \text{ Дж/м}^3$. При этом форма петли гистерезиса для первых двух участков однозначно свидетельствует о полном восстановлении упругой деформации после снятия нагрузки, в то время как петля гистерезиса на рисунке 4в. свидетельствует о наличии остаточной деформации после снятия нагрузки, и переходе конструкции в вязко-упруго-пластическое состояние.

Представленные результаты позволяют сформулировать гипотезу о том, что определение предельной осевой нагрузки на покрытие может быть осуществлено на основе построения кривой в координатах «прирост рассеянной энергии (ΔW) – нагрузка на покрытие (F)», причем в качестве предельной нагрузки, будет выступать нагрузка инициирующая переход от пропорционального увеличения рассеянной энергии при повышении контактной нагрузки, к непропорциональному.

Результаты

Для подтверждения данной гипотезы были проведены инструментальные измерения на одном из участков автомобильной дороги М4 «ДОН». Конструкция дорожной одежды включала в себя пакет слоев асфальтобетона толщиной 36 см, и слой основания из щебеночно-гравийно-песчаной смеси оптимального состава толщиной 50 см. Инструментальные измерения осуществлялись в начале декабря.

На рисунке 3 представлены результаты регистрации динамических петель гистерезиса дорожной одежды, для ступеней ударной нагрузки, изменяющейся в диапазоне от 50 до 100 кН. Изменение величины ударной нагрузки осуществлялось путем подбора высоты сброса падающего груза. Результаты расчета плотности рассеянной при ударном воздействии энергии представлены в таблице 3.

Рисунок 3. Результаты регистрации динамических петель гистерезиса на поверхности дорожной одежды при различной нагрузке

Таблица 3

Результаты расчета прироста рассеянной энергии на поверхности покрытия дорожной одежды для различных уровней нагрузки

Нагрузка, кН	Рассеянная энергия, рассчитанная по площади динамической петли гистерезиса, Дж/м ³	Прирост рассеянной энергии, Дж/м ³
50	3.26	2.03
60	5.29	2.07
70	7.5	2.12
80	9.62	3.1
90	12.72	4.65
100	17.37

Рисунок 4. Определение прироста рассеянной энергии при увеличении ударной нагрузки

Графическое отображение полученных результатов, представленное на рисунке 4, позволяет выделить зоны пропорционального изменения удельной рассеянной энергии, связанного с увеличением нагрузки, и зону непропорционального увеличения, соответствующую функционированию дорожной одежды в неупругой стадии.

Обсуждение

Как видно на представленном графике при увеличении нагрузки на покрытие до 70 кН, идет пропорциональный прирост рассеянной энергии в пределах 1–2 %. При последующем увеличении нагрузки происходит резкое увеличение удельной рассеянной энергии составляющая 30–33 %. Очевидно, что данный эффект связан в первую очередь с усиленным проявлением механизмов вязкоупругого деформирования, что противоречит расчетным схемам, закладываемым на стадии проектирования дорожных одежд. Таким образом по результатам полевых испытаний можно сделать вывод, о том, что предельной нагрузкой на ось транспортного средства для данной дорожной конструкции в зимний период года является нагрузка в 70 кН на колесо грузового автомобиля, или 140 кН на всю заднюю ось. Набор статистических данных инструментальных обследований нежестких дорожных одежд в различные периоды года, позволит использовать данный метод для составления карт предельных осевых нагрузок на дорожные одежды и назначения обоснованных ограничений для движения грузового транспорта в различные периоды года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Углова Е.В., Тиратурян А.Н. К вопросу об определении минимального требуемого общего модуля упругости нежесткой дорожной одежды // Дороги и мосты. – 2017. – № 35. – С. 5.
2. Яшнов А.Н., Поляков С.Ю. Особенности расчета нежесткой дорожной одежды применительно к условиям эксплуатации покрытия на ортотропной плите // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2016. – № 1. – С. 142–157.
3. Алексиков С.В. и др. Расчет пластических деформаций дорожного покрытия от нагрузок грузового транспорта // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 54. – № 73.
4. Колмогоров Г.Л., Кычкин В.И., Есипенко И.А. Динамическая реакция дорожной одежды на действие движущейся нагрузки // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. – № 5.
5. Горячев М.Г. Оценка поправочного коэффициента для определения минимального требуемого модуля упругости нежестких дорожных одежд Горячев М.Г. Транспортное строительство. 2018. № 5. С. 10–12.
6. Апестин В.К. и др. О расхождении проектных и нормативных межремонтных сроков службы дорожных одежд // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 1. – С. 18.
7. Углова Е.В. Моделирование деформирования нежестких дорожных конструкций при воздействии движущегося транспорта // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 3–4. – С. 87–94.
8. Смирнов А.В., Илиополов С.К., Александров А.С. Динамическая устойчивость и расчет дорожных конструкций // Омск: Изд-во СибАДИ. – 2003.
9. Углова Е.В., Тиратурян А.Н., Ляпин А.А. Комплексный подход к исследованию характеристик динамического деформирования на поверхности нежестких дорожных одежд с использованием методов неразрушающего контроля //

- Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – № 2.
10. Юшков Б.С., Сергеев А.С., Габдулхаев Р.И. Влияние нагрузок от транспортных средств на автомобильных дорогах // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 8–3. – С. 104–108.
 11. Баженова А.Ю., Смирнов А.В. Состояние проблемы учета динамических процессов в расчетах дорожных одежд автомобильных дорог на прочность // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 4 (50).
 12. Тиратурян А.Н., Углова Е.В., Ляпин А.А. Исследование распределения энергии динамического воздействия транспортных средств в слоях нежесткой дорожной конструкции // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2017. – № 2.
 13. Тиратурян А.Н., Углова Е.В., Ляпин А.А. Имитационное моделирование эффекта динамического гистерезиса дорожной конструкции при воздействии подвижной нагрузки // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 1. – С. 76–81.
 14. Тиратурян А.Н. Новый подход к оценке остаточного ресурса нежесткой дорожной одежды // Транспортное строительство. – 2017. – № 8. – С. 16–19.
 15. Матвеев С.А., Мартынов Е.А., Литвинов Н.Н. Экспериментально-теоретические исследования армированного основания дорожной одежды // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 4 (44).
 16. Трошенко В.Т. Рассеянное усталостное повреждение металлов и сплавов. Сообщение 3 деформационные и энергетические критерии / Проблемы прочности. 2006. № 1. С. 5–31.
 17. Вознесенский Е.А. Динамическая неустойчивость грунтов / Е.А. Вознесенский. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 263 с.
 18. Aghdam A.B., Khonsari M.M. Prediction of wear in reciprocating dry sliding via dissipated energy and temperature rise // Tribology Letters. – 2013. – Т. 50. – № 3. – С. 365–378.
 19. Углова Е.В., Тиратурян А.Н. Оценка прочности нежестких дорожных одежд. Опыт применения установки динамического нагружения FWD Primag на участках автомобильной дороги М-4 «ДОН» // Дорожная держава. – 2014. – № 57. – С. 55.
 20. Углова Е.В., Тиратурян А.Н., Шамраев Л.Г. Современный подход к оценке транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги» // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2016. – № 1 (6).

Uglova Evgenia Vladimirovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: uglova.ev@yandex.ru

Tiraturyan Artem Nikolaevich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: tiraturjan@list.ru

Roman Evgeny Valentinovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: roman.ievghienii@mail.ru

Belousov Evgeny Sergeevich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: zhenek-belousov@bk.ru

Determination of maximum axial loads at the stage of operation of non-rigid pavements based on the analysis of complete deformation diagrams

Abstract. The article is devoted to the development and experimental justification of the possibility of determining the axial loads of flexible pavements on the basis of full deformation diagrams recorded under shock loading.

Results: The drawbacks of the existing regulatory methods for determining the axial load limit from the impact of vehicles at the operation stage are considered. It is noted that the definition of axial loads only on the strength factor, has several disadvantages associated with the need for information on the design value of the modulus of elasticity of the pavement, as well as the inconsistency of the existing regulatory framework for road design with real traffic loads. It is proposed to determine the maximum axial loads on the basis of the analysis of the complete deformation diagrams recorded at different values of the dynamic load shock load. For the first time, an approach to determining axial loads is proposed, based on the construction of a curve in the coordinates “increase of dissipated energy (ΔW) – load on the coating (F)”, and the load initiating the transition from proportional increase of the dissipated energy with increasing contact load, disproportionately. An example is given of determining the maximum axial load on the pavement cover for the exploited section of the M4 “DON” highway

Conclusions: The possibility of determining the limiting axial loads on the pavement coating, based on the analysis of the complete deformation diagrams recorded during impact loading on the pavement coating, was experimentally justified. The need for further improvement and a set of a database of experimental data on changes in limiting axial loads in different periods of the year is noted.

Keywords: pavement; technical monitoring; installation of shock loading; deformation diagrams; ultimate load; dissipated energy; hysteresis loop

REFERENCES

1. Uglova E.V., Tiraturyan A.N. (2017). On the question of determining the minimum required total elastic modulus of a non-rigid pavement. *Roads and bridges*, 35, p. 5 (in Russian).
2. Yashnov A.N., Polyakov S.Yu. (2016). Features of the calculation of non-rigid pavement in relation to the operating conditions of the coating on an orthotropic plate. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 1, pp. 142–157 (in Russian).
3. Aleksikov S.V. and etc. (2018). Calculation of plastic deformations of the road surface from loads of freight transport. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Building and Architecture*, 73(54) (in Russian).
4. Kolmogorov G.L., Kychkin V.I., Esipenko I.A. (2015). Dynamic reaction of the pavement to the action of a moving load. *Construction mechanics of engineering structures and structures*, 5 (in Russian).
5. Goryachev M.G. (2018). Estimation of the correction factor to determine the minimum required modulus of elasticity of non-rigid pavements Goryachev M.G. *Transport construction*, 5, pp. 10–12 (in Russian).
6. Apestin V.K. and etc. On the discrepancy between the design and regulatory time between repairs of the pavement service. *Science and technology in the road industry*, 1, p. 18 (in Russian).
7. Uglova E.V. (2009). Modeling the deformation of non-rigid road structures under the influence of moving vehicles. *News of higher educational institutions. Building*, 3–4, pp. 87–94 (in Russian).
8. Smirnov A.V., Iliopolov S.K., Aleksandrov A.S. (2003). *Dinamicheskaya ustoychivost' i raschet dorozhnykh konstruktsiy. [Dynamic stability and calculation of road structures.]* Omsk: Publishing House of the Siberian State Automobile and Highway University.
9. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Lyapin A.A. (2016). An integrated approach to the study of the characteristics of dynamic deformation on the surface of non-rigid pavements using non-destructive testing methods. *Perm National Research Polytechnic University Bulletin. Mechanics*, 2 (in Russian).
10. Yushkov B.S., Sergeev A.S., Gabdulkhaev R.I. (2015). Impact of loads from vehicles on highways. *Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 8–3 (3), pp. 104–108 (in Russian).
11. Bazhenova A.Yu., Smirnov A.V. (2016). The state of the problem of accounting for dynamic processes in the calculations of road pavement for strength. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway Academy*, 4(50) (in Russian).
12. Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Lyapin A.A. (2017). Investigation of the energy distribution of the dynamic effects of vehicles in the layers of non-rigid road construction. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanics*, 2 (in Russian).
13. Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Lyapin A.A. (2017). Simulation of the dynamic hysteresis effect of the road structure under the influence of a moving load. *Construction and reconstruction*, 1, pp. 76–81 (in Russian).

14. Tiraturyan A.N. (2017). A new approach to the assessment of the residual resource of a non-rigid pavement. *Transport Construction*, 8, pp. 16–19 (in Russian).
15. Matveev S.A., Martynov E.A., Litvinov N.N. (2015). Experimental and theoretical studies of the reinforced pavement base. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway Academy*, 4(44) (in Russian).
16. Troshchenko V.T. (2006). Scattered fatigue damage to metals and alloys. Post 3 Deformation and Energy Criteria. *Strength Problems*, 1, pp. 5–31 (in Russian).
17. Voznesenskiy E.A. (1999). *Dinamicheskaya neustoychivost' gruntov. [Dynamic ground volatility.]* Moscow: Editorial URSS, p. 263.
18. Aghdam A.B., Khonsari M.M. (2013). Prediction of wear in reciprocating dry sliding via dissipated energy and temperature rise. *Tribology Letters*. 3(50), pp. 365–378.
19. Uglova E.V., Tiraturyan A.N. (2014). Evaluation of the strength of non-rigid pavement. Experience of application of the FWD Primax dynamic loading unit on the sections of the M-4 “DON” highway. *Road Power*, 57, p. 55 (in Russian).
20. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Shamraev L.G. (2016). Modern approach to the assessment of transport and operational indicators of highways of the state-owned company “Russian Highways”. *CAD and GIS of highways*, 1(6) (in Russian).