

УДК 69.058.2

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОПЕРЕЧНОЙ РОВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Комиссаров Виктор Николаевич, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, komiss.one1@gmail.com

Лугов Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, lugov-madi@rambler.ru

Аннотация. В статье проводится анализ поперечной ровности автомобильной дороги методом компьютерного моделирования. Общепринятые на сегодняшний день мероприятия по диагностике поперечной ровности предполагают перекрытие движения и многочисленные измерения. Так как измерения проводятся непосредственно при участии бригады рабочих, данные мероприятия являются опасными. К тому же при проведении измерений в условиях городского движения могут образовываться заторы и пробки. При использовании метода компьютерного моделирования снижаются затраты временных ресурсов и повышается качество полученных результатов, сравнивая с общепринятыми методами. На основе облака точек, полученных в результате проведения исследований с помощью лазерного сканирования, смоделирована цифровая модель покрытия. Были выявлены участки с неудовлетворительным эксплуатационным состоянием и назначены ремонтные мероприятия в соответствии с действующей актуальной нормативной документацией.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; колея; ремонт дорог; САПР.

COMPUTER MODELING WHEN EVALUATING THE TRANSVERSE EVENNES OF THE VEHICLE ROAD ON THE BASIS OF LASER SCAN RESULTS

Komissarov Viktor N., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, komiss.one1@gmail.com

Lugov Sergey V., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia., lugov-madi@rambler.ru

Abstract. The article discusses the analysis of the transverse evenness of the road with the help of computer modeling. The use of this method involves less time-consuming resources and obtaining the most accurate results due to the lack of the need in carrying out the usual measures for measuring transverse evenness, suggesting the overlap of the movement and numerous measuring. These activities are dangerous as measurements are

carried out directly with the participation of a work crew. In addition to this, taking measurements in urban traffic can caused congestion and traffic jams. In this paper, an alternative method for measuring and analyzing the transverse evenness of a coating was researched. Based on a cloud of points resulting from research with the help of the using laser scanning, a digital coating model was simulated. Areas with unsatisfactory operational condition were identified and repair measures were appointed in accordance with the current relevant regulatory documentation.

Keywords: computer modeling; track; road repair; CAD.

Введение

В настоящее время назначение и проведение ремонтных мероприятий регламентируется действующим ОДМ [1]. В данном документе нет единого и количественно выраженного показателя транспортно-эксплуатационного состояния. В рамках плановой диагностики состояния автомобильных дорог проводится мониторинг показателей, отвечающих за эффективность и безопасность работы автомобильного транспорта. Эксплуатационное состояние автомобильной дороги оценивается по показателям (продольной и поперечной ровности, сцепных характеристик, прочности дорожной одежды). Со временем в процессе эксплуатации данные показатели ухудшаются, и дорога перестает отвечать требованиям. Одним из быстро ухудшающихся эксплуатационных показателей, особенно на дорогах с интенсивным движением, является поперечная ровность, иными словами колея. Колея сдвиговой природы может характеризоваться гребнями выпора, но также причиной ее образования могут служить износ и истирание покрытия колесами, разрушение каменных материалов слоев основания и их доуплотнение в процессе эксплуатации, нарушения технологии и прочие факторы. Независимо от причин колееобразования требуется диагностика и оценка состояния дороги, и приведение её эксплуатационного состояния в соответствие с требованиями норм. В данной статье проведена диагностика и оценка показателя поперечной ровности с помощью результатов лазерного сканирования – облака точек.

Методы измерения глубины колеи

На данный момент, согласно ГОСТ [2], существует три основных способа измерения поперечной ровности покрытия: упрощенный метод, метод вертикальных отметок и считывание микропрофиля покрытия с помощью профилометра. Первые два метода основаны на измерении с помощью двухметровой рейки и предполагают собой перекрытие полос движения, что является небезопасным для бригады с специалистов и движения в целом. Несмотря на то, что измерение по упрощенной методике считаются наиболее точными, измерения проводятся при непосредственном участии специалистов, что сохраняет за собой наличие человеческого фактора. Так же существует третий метод определения поперечной ровности – это анализ микропрофиля покрытия с помощью профилометра. В ГОСТ [3] отображены требования к точности воспроизведения высотных отметок и указаны в таблице Б.2 стандарта (табл. 1).

Таблица 1

Требования к точности высотных отметок

Наименование показателя	Номер диапазона						
	0	1	2	3	4	5	6
Диапазон длин волн	0,707	1,414	2,828	5,657	11,314	22,627	45,255
	-	-	-	-	-	-	-
	1,414	2,828	5,657	11,314	22,627	45,255	90,510
1-й класс точности	0,5 мм		1 мм		2 мм		5 мм
2-й класс точности	1 мм		2 мм		5 мм		-

В данной статье будет проанализировано эксплуатационное состояние автомобильной дороги по показателю поперечной ровности альтернативным методом – с помощью компьютерного моделирования. Для проведения работы использовалось программное обеспечение компании «ИндорСофт» (г. Томск, <https://www.indorsoft.ru/>), а именно «IndorCloud», «IndorCAD» и «IndorDraw». Исходными данными для

анализа являлся результат проведения лазерного сканирования покрытия автомобильной дороги – облако точек. На основе облака точек моделируется подробная цифровая модель автомобильной дороги. Полученная модель является аналогом микропрофиля и на ней подробно отображены геометрические параметры покрытия с точностью до миллиметра. Данные материалы были предоставлены компанией «ВТМ дорпроект». Съёмка сделана с помощью лазерного сканера RD-M1. Во время движения сканер постоянно регистрирует данные и предоставляет точные сведения о состоянии дорожного покрытия. Данный сканер снимает с интервалом 3,1 мм, считывая до 28500 точек в секунду, что обеспечивает превосходную детализацию о текущем состоянии дорожного покрытия с точностью до миллиметра. Таким образом можно сделать вывод, что данная система соответствует требованиям к точности высотных отметок (табл. 1). Для получения данных о ситуации с помощью беспилотного летающего аппарата Topcon GLS-2000 была выполнена съёмка методом лазерного сканирования. Лазерное сканирование является очень качественным методом съёмки, позволяющей создавать трехмерные модели с высокой точностью и за короткое время. С помощью фотограмметрии [4], используя структуру характера движения было получено облако точек (рис. 1)

Моделирование цифровой модели покрытия автомобильной дороги

Обработка облака точек производилась в программе IndorCloud. Съёмка была передана в формат «LAS» и импортирована в программу IndorCloud. В параметрах импорта облака задаются основные характеристики ориентации в системе координат и атрибуты фильтрации точек.

Программа позволяет задать режим раскраски по классам, интенсивности, цвету, облакам точек и высоте. В целях оценки поперечной

ровности автомобильной дороги для оптимального визуального восприятия было задано отображение цветов точек по высоте с минимальным шагом высот 1 метр. Адаптировав отображения результатов съемки лазерного сканирования, можно выявить участки автомобильной дороги с образованием колеи (рис. 1).

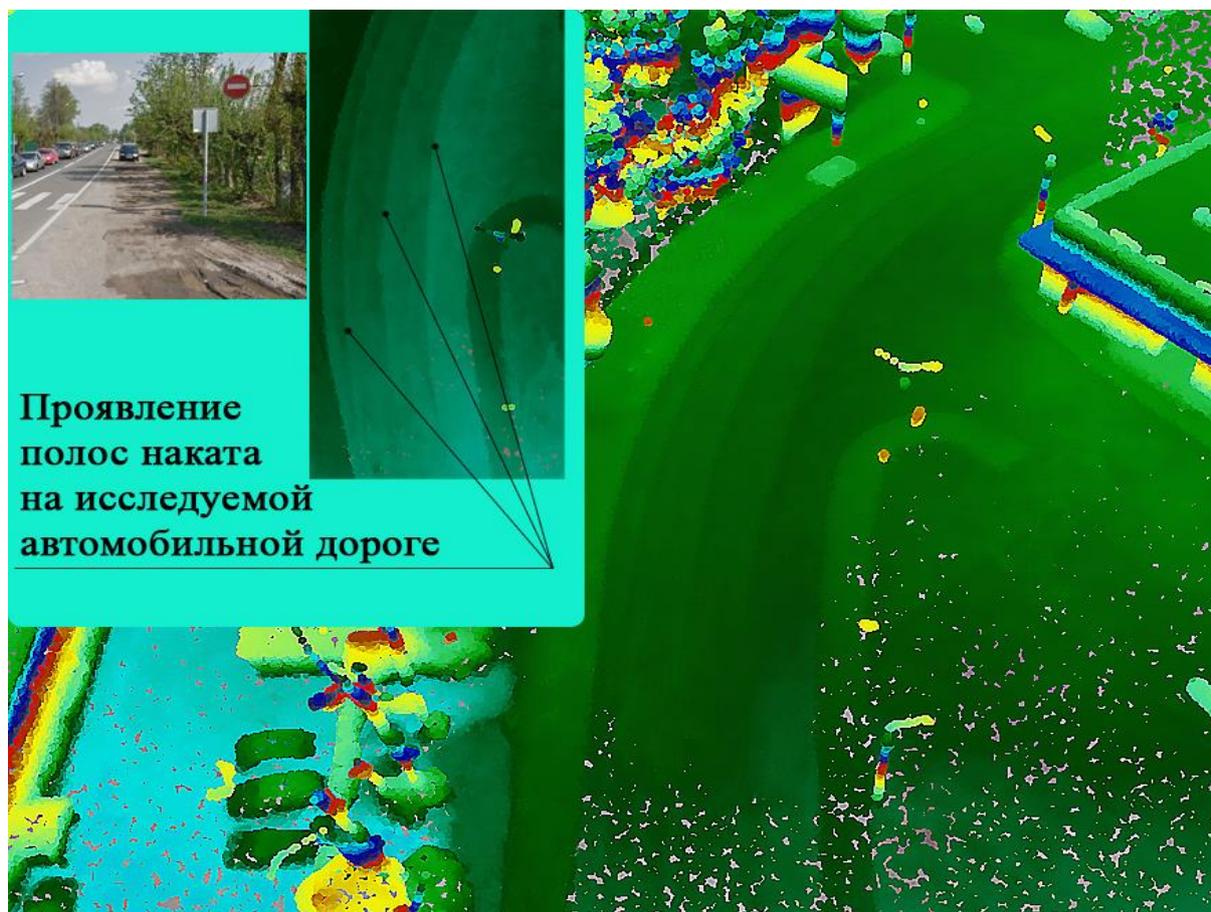


Рис. 1. Выявление полос наката по облаку точек на участке автомобильной дороги

Следующим этапом мониторинга состояния автомобильной дороги является очистка облака от точек, не формирующих в дальнейшем цифровую модель рельефа покрытия с выявленными полосами наката. После обработки облака точек, итоговый файл формата «LAS» импортируется в систему автоматизированного проектирования «IndorCAD Road» для анализа поперечного профиля дороги. В данном программном продукте есть функция создания ЦМР на основе импортированных точек. После создания ЦМР необходимо создать

проектную трассу автомобильной дороги, совпадающую по геометрическим параметрам с существующей. Для этой операции необходимо наметить ось трассы по тангенциальному ходу. После построения оси выполняется разбивка трассы с шагом 0,10 м для более детализированного анализа. После данной операции в режиме просмотра окна поперечного профиля мы можем наблюдать гребни выпора и саму колею.

Измерение глубины колеи и назначение ремонтных мероприятий

На сегодняшний день существуют требования для допустимой глубины колеи и сроков ее устранения. Данные требования отражены в ГОСТ [5]. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля.» и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Размеры дефектов покрытия и сроки их устранения

Вид дефекта	Категория дороги	Группа улиц	Размеры	Срок устранения сут., не более
Колея глубиной, см, более и длиной, м, более на участке 100 метров.	IA, IB, IB	A, Б	2,0/7,0	5
	II	Б	2,5/7,0	7
	III	В, Г	3,0/9,0	10
	IV	Д		14

Исследуемая автомобильная дорога относится к категории магистральной транспортно-пешеходной улице (группа Б). Расчетная скорость на данной автомобильной дороге составляет 70 км/ч. Согласно требованиям размеров дефектов глубина колеи является недопустимой от 30 до 90 мм. При наличии колеи с такими параметрами следует назначать ремонтные мероприятия.

Далее будет описано моделирование процесса определения расчетной глубины, по наиболее часто используемой, упрощенной методике. Принцип измерения колеи по упрощенной методике заключается в измерении просвета под двухметровой рейкой, уложенной на гребни выпора. С помощью измерительного щупа определяется глубина колеи. Количество створов измерения и расстояния между створами принимают в зависимости от длины самостоятельного и измерительного участков. Согласно ГОСТ [3], самостоятельным считается участок, на котором, по визуальной оценке, параметры колеи примерно одинаковы. Протяжённость такого участка может колебаться от 20 м до нескольких километров. При визуальном анализе поперечных профилей смоделированной автомобильной дороги в САПР «IndorCAD Road» был выявлен пикетаж участков, где параметры колеи имеют закономерность в проявлении и сходство. Данный участок имеет длину 102 метра. Самостоятельный участок разбивается на измерительные (рис. 2).

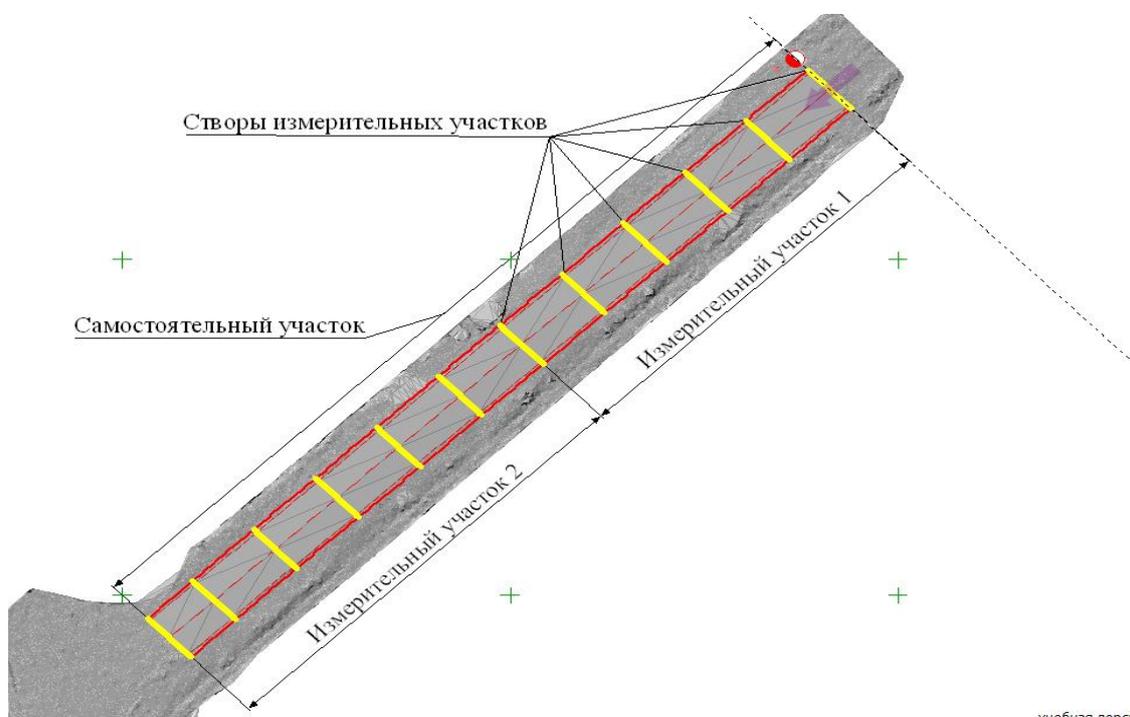


Рис. 2. Самостоятельный участок

В нашем случае самостоятельный участок был разбит на два измерительных участка длиной 50 метров и 52 метра. Каждый измерительный участок был разбит на створы измерения. Измерительный участок длиной 50 метров был разбит на 5 створов длиной 10 метров каждый, а измерительный участок длиной 52 метра был разбит на 6 створов измерения, 5 из которых имеют длину 10 метров, а створ №6 2 метра. (рис. 3)



Рис. 3. Разбивка самостоятельного участка на измерительные.

Измерения проводят по внешней колеи как в прямом, так и в обратном направлениях. Для определения расчетной глубины колеи на данном участке дороги нам необходимо выполнить измерение ее глубины в наиболее глубоком месте каждого створа. Так как самостоятельный участок дороги разбит на поперечные профили через каждые 0,10 метра, мы сможем детально проанализировать и выявить самое глубокое место в каждом створе и занести эти данные в ведомость (табл. 3). Используя эти данные, мы назначаем параметры экспорта чертежей поперечных профилей в программу «IndorDraw». Данная система является простым графическим редактором, включающим в свой интерфейс все необходимые функции и параметры для редактирования, преобразования и экспорта чертежей. Параметры экспорта настраиваются из условий более наглядного представления геометрических характеристик колеи. Это

необходимо не только для оценки расчетной глубины, но и для определения возможных причин деформаций покрытия. В нашем случае был задан масштаб по вертикали и горизонтали 1:20. В качестве отображаемой была задана только существующая поверхность с выбором сплошного толстого типа линий.

После импорта поперечных профилей в систему «IndorDraw» начинается измерение глубины колеи в каждом намеченном створе.

При измерении глубины колеи необходимо определить вершины гребней выпора. Так как чертежи профилей были экспортированы в крупном масштабе, мы легко можем анализировать геометрию колеи и с помощью Z-отметок определить вершинные точки гребней выпора. По этим точкам строится отрезок, имитируя приложение двухметровой рейки. Благодаря Z-отметкам мы так же определяем самую низкую точку в просвете под линией. Для наглядного отображения измерений был выбран синий цвет, а в качестве единиц измерения миллиметры. (рис. 4).

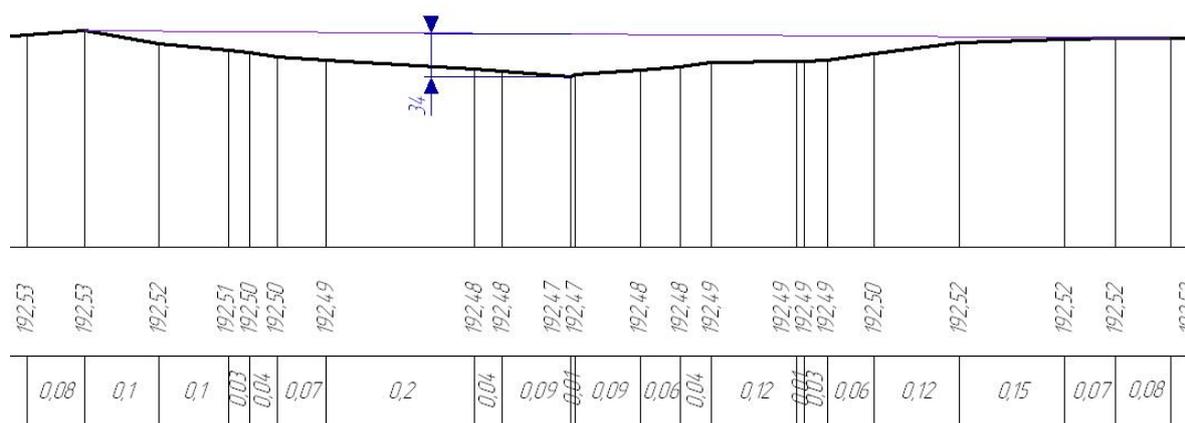


Рис. 4. Измерение глубины колеи

Таким образом для каждого створа была выявлена максимальная глубина колеи. Все данные заносятся в ведомость (таблица 3) и

рассчитывается глубина колеи для всего самостоятельного участка по формуле (1).

Таблица.3

Ведомость измерения колеи по упрощенному способу

Номер самостоятельного участка	Привязка к километражу и протяженность	Длина измерительного участка l, м	Глубина колеи по створам		Расчетная глубина колеи h _{кп} , мм	Средняя расчетная глубина колеи h _{кс} , мм
			Номер створа	Глубина колеи h _к , мм		
1	От км 0+16 до км 0+118, L=102 м	50	1	44	40,2	42,015
			2	39		
			3	34		
			4	41		
			5	43		
		52	1	48	43,83	
			2	45		
			3	43		
			4	44		
			5	45		
			6	38		

Формула (1) определения расчетной глубины колеи для самостоятельного участка:

$$h_{кс} = \frac{\sum_i^n h_{кк}}{n}, \text{ мм}$$

Заключение

В работе был выполнен анализ эксплуатационного состояния автомобильной дороги в части поперечной ровности. Используя метод компьютерного моделирования, можно сделать вывод, что в условиях камеральной обработки лазерного сканирования можно намного точнее определить значение параметра поперечной ровности по сравнению с другими общепринятыми методами. Подводя итоги анализа следует отметить не только возможность измерения средней глубины колеи, но и возможность исследования характера её проявления по смоделированным гребням выпора. Важную роль в исследовании выполняли исходные данные – облако точек, ведь точная съемка с высокой интенсивностью способствует качественному моделированию текущей ситуации. Использование метода компьютерного моделирования при планировании ремонтных мероприятий позволит сэкономить на материальных и временных ресурсах.

Список литературы.

1. ГОСТ Р 56925-2016 «Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий»/ Научно-исследовательский институт ЗАО "Союздорнии". - М, 2005. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200135163>;
2. ГОСТ 33101-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности»/ Межгосударственный технический комитет по стандартизации МТК 418 "Дорожное хозяйство". – М, 2016. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200127196>;
3. ГОСТ Р 50597-2017 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля.» / Министерство транспорта Российской Федерации. – М, 2018. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200147085>;
4. Mirko Francioni, A New Fast and Low-Cost Photogrammetry Method for the Engineering Characterization of Rock Slopes/ Mirko Francioni, Matteo Simone, Doug Stead , Nicola Sciarra , Giovanni Mataloni and Fernando Calamita // Remote Sens. 2019, 11 (11), 1267; <https://doi.org/10.3390/rs11111267>
5. ОДМ 218.4.039–2018 «РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИАГНОСТИКЕ И ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ»/

Федеральное Дорожное Федеральное Агентство (Росавтодор) /. – М. 2018. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/550771223>.

Referens

1. Dorogi avtomobil'nyye i aerodromy. Metody izmereniya nerovnostey osnovaniy i pokrytiy GOST R 56925-2016 (Automobile roads and airfields. Methods for measuring unevenness of substrates and coatings State Standart R 56925-2016), Moscow, 2005. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200135163>
2. Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Pokrytiya dorozhnyye. Metody izmereniya rovnosti GOST 33101-2014 (General automobile roads. Road coatings. Methods for measuring evenness State Standart 33101-2014), Moscow, 2016. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200127196>
3. Dorogi avtomobil'nyye i ulitsy. Trebovaniya k ekspluatatsionnomu sostoyaniyu, dopustimomu po usloviyam obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Metody kontrolya GOST R 50597-2017 (Automobile roads and streets. Requirements for the operational state acceptable under the conditions of ensuring road safety. Control methods State Standart R 50597-2017), Moscow, 2018. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200147085>
4. Mirko Francioni, Matteo Simone, Doug Stead, , Nicola Sciarra, Giovanni Mataloni, Fernando Calamita, *Remote Sens*, 2019, no. 11 (11), pp/ 1267; URL: <https://doi.org/10.3390/rs11111267>
5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИАГНОСТИКЕ И ОТСЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ODM 218.4.039–2018 (RECOMMENDATIONS FOR DIAGNOSTICS AND ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF CAR ROADS ODM 218.4.039–2018), Moscow, 2018. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/550771223>

Рецензент: В.Н. Бойков – д-р техн. наук, МАДИ