

УДК 625.76

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ
ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО
СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ
СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ
ПРОДОЛЬНОЙ РОВНОСТИ**

Жустарева Елена Владимировна, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64,
joustareva@mail.ru

Орлова Анастасия Игоревна, магистр,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, nast.orlova@yandex.ru

Аннотация. Для оценки работоспособности автомобильной дороги наиболее эффективно использовать единый критерий, определяемый на основании разнородных показателей, долгое время им оставался коэффициент расчетной скорости. Однако, в недавно введенных нормах по диагностике автомобильных дорог ОДМ 218.4.039-2018 данный метод оценки транспортно-эксплуатационного состояния не предусмотрен, что, по мнению авторов, требует переработки данного документа. В статье заявлено, что внедрение принципа определения коэффициента расчетной скорости согласно международному индексу ровности IRI позволит актуализировать отмененный документ ОДН 218.0.006-2002 и с высокой эффективностью комплексно оценивать состояние автомобильной дороги. Авторами были проведены натурные исследования влияния продольной ровности дороги, измеренной профилометрической установкой, на скорость движения легкового автомобиля. Предложена модель для определения частного коэффициента обеспеченности расчетной скорости по показателю продольной ровности, оцениваемому международным индексом IRI.

Ключевые слова: продольная ровность, индекс IRI, транспортно-эксплуатационное состояние, коэффициент расчетной скорости.

**IMPROVEMENT OF THE COMPLEX EVALUATING TRANSPORT-
OPERATION CONDITION MOTOR ROADS METHODOLOGY
TAKING INTO ACCOUNT LONGITUDINAL ROUGHNESS MODERN
MEASURING INSTRUMENTS**

Joustareva Elena V., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, joustareva@mail.ru

Orlova Anastasiya I., master of engineering sciences,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, nast.orlova@yandex.ru

Abstract. To assess motor road operability, it is most effective to use a single criterion, determined on the heterogeneous indicators basis. For a long time it was the design speed coefficient. However, in the recently introduced highways diagnosis standards «ODM 218.4.039-2018», this assessing the transport-operation condition method is not provided. According to the authors opinion, revision of this document is required. The article states that design speed coefficient new determination principle according to the international roughness index IRI will allow updating the canceled document ODN 218.0.006-2002 and with high efficiency evaluate complexly the roads condition. The authors carried out full-scale studies road longitudinal roughness measured by a profiler installation and its influence on passenger car speed. A model for determining the partial design speed coefficient by the indicator of longitudinal roughness, assessed by the international roughness index IRI is proposed.

Key words: longitudinal roughness, international roughness index, transport-operation condition, design speed coefficient.

Актуальность темы

В современных экономических условиях особую важность приобретает вопрос рационального использования материальных средств, выделяемых на программы развития дорожно-транспортного комплекса РФ. Одной из таких программ является Национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги», который разработан Минтрансом России в целях исполнения положений президентского Указа «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Масштаб национального проекта охватывает практически всю страну, в нем принимают участие 83 субъекта России (за исключением Москвы и Санкт-Петербурга) и 104 городские агломерации.

Среди основных задач проекта [1]:

- увеличение к 2024 году доли автодорог регионального значения в нормативном состоянии с 43,1 % (на конец 2017 г.) до 50,9 %, что составит порядка 260,5 тыс. км;
- снижение количества мест концентрации дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в два раза по сравнению с 2017 г.;

- доведение показателя протяженности дорог городских агломераций в нормативном состоянии к 2024 г. до 85%;
- снижение доли федеральных и региональных трасс, работающих в режиме перегрузки на 10% по сравнению с 2017 г.

Финансирование программ дорожной деятельности субъектов России будет осуществляться из федерального и регионального бюджетов.

Для реализации таких масштабных национальных проектов и определения приоритетных направлений работы необходимо проводить оценку транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог (ТЭС АД). В табл. 1 приведена классификация методов оценки ТЭС АД [2].

Таблица 1

Классификация методов оценки по полноте оцениваемых элементов или показателей

Полнота оцениваемых элементов или показателей		
Оценка отдельных элементов	Оценка группы элементов	Оценка комплекса элементов
Методы оценки отдельных элементов, параметров, характеристик или показателей (методы раздельной оценки)	Методы оценки группы элементов, параметров, физических характеристик или показателей	Методы оценки комплекса, т.е. всех или большинства основных элементов, параметров, характеристик или показателей (методы комплексной оценки)

Наиболее полную и обоснованную оценку транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог (ТЭС АД), учитывающую влияние разнообразных транспортно-эксплуатационных характеристик на их потребительские свойства, дает комплексная оценка, описанная в ОДН 218.0.006-2002.

Преимуществами комплексной оценки ТЭС АД являются:

- 1) использование единого критерия (обеспеченной расчетной скорости) для оценки работоспособности автомобильной дороги;

2) использование относительного показателя (коэффициент обеспеченности расчетной скорости), отражающего влияние различных транспортно-эксплуатационных характеристик дороги на обеспеченную скорость, что позволяет сопоставлять степень влияния этих характеристик на выбранный критерий оценки;

3) возможность определить предпочтительный вид ремонтных работ с учетом экономической эффективности предлагаемых мероприятий.

К сожалению, в настоящее время ОДН 218.0.006-2002 утратил силу. Введенный взамен ОДМ 218.4.039-2018 «Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог» предполагает проведение полной диагностики автомобильной дороги [3], но не предусматривает применение комплексной оценки. Отсутствие в документе рекомендаций по использованию при полной диагностике автомобильной дороги комплексной оценки её ТЭС является существенным недостатком, который должен быть устранен при его последующей переработке.

Кроме того, следует учитывать, что некоторые дорожные организации осуществляют свою деятельность на основании регламентов, разработанных с учетом комплексной оценки ТЭС АД, например оператор платной дороги «Северный обход Одинцово» ООО «Новое качество дорог». Этот оператор эксплуатирует первую в нашей стране автомобильную дорогу, построенную на основании концессионного соглашения: «Новый выход на МКАД с федеральной автомобильной дороги М-1 «Беларусь» Москва – Минск». Для нашей страны этот проект является инновационным в сфере строительства и содержания дорог [4]. Использование в регламентах АО «Новое качество дорог» комплексной оценки подтверждает её актуальность, востребованность и эффективность. В связи с этим, совершенствование методики комплексной оценки ТЭС

АД с учетом современных методов и средств диагностики является важной научно-практической задачей.

Основной функцией автомобильной дороги является обеспечение непрерывного круглогодичного, безопасного и комфортабельного движения транспортного средства с заданными скоростями и разрешенными осевыми нагрузками [5]. Эффективность работы автомобильного транспорта напрямую связана с транспортно-эксплуатационными характеристиками автомобильной дороги. Одной из важных характеристик является продольная ровность дорожного покрытия. Это качественная характеристика состояния поверхности дорожного покрытия на основе геометрических параметров, способных оказывать влияние на колебания движущегося транспортного средства [6].

Продольная ровность дорожного покрытия влияет на скорость, безопасность движения, расход топлива, экологию, износ подвески транспортного средства [5].

Действующие нормативные документы ГОСТ 33101-2014 и ГОСТ Р 56925-2016 предусматривают измерение продольной ровности профилометрическими установками, результатом измерений при этом является международный показатель IRI [6, 7].

Методика комплексной оценки ТЭС АД предполагает вычисление частного коэффициента обеспеченности расчетной скорости (K_{PC}), который представляет собой отношение фактической максимальной скорости движения одиночного легкового автомобиля ($V_{\Phi.MAX}$), обеспеченной дорогой по условиям безопасности движения, к базовой расчетной скорости ($V_{РАСЧ}^Б$) [8]:

$$K_{PC} = \frac{V_{\Phi.MAX}}{V_{РАСЧ}^Б} . \quad (1)$$

За базовую расчетную скорость принято брать эталонную скорость равную 120 км/ч [8], которая соответствует скорости передвижения на эталонном участке дороги II категории.

Согласно комплексной оценке ТЭС АД, определяют десять частных коэффициентов, каждый из которых показывает влияние конкретной транспортно-эксплуатационной характеристики дороги на обеспеченную скорость движения. Влияние продольной ровности на скорость учитывает K_{PC6} .

Согласно методике [8], K_{PC6} вычисляют по данным о фактической продольной ровности, измеренной установками ПКРС и ТХК (табл. 2). Методика не предусматривает измерение продольной ровности с помощью профилометрических установок, которые стали широко применяться в настоящее время. Поэтому назрела необходимость модернизировать методику комплексной оценки.

Для установления зависимости $K_{PC6} = f(IRI)$ можно воспользоваться известными функциональными зависимостями между результатами измерений продольной ровности, полученными разными средствами измерения (табл. 3).

На рис. 1 и 2 показаны зависимости $K_{PC6} = f(IRI)$, полученные путем вычислений на основании табл. 2 и 3.

Анализ графиков показал, что в целом они имеют схожий вид и одинаковый диапазон значений исследуемых показателей. Исключением является зависимость 4, которая имеет значительное отклонение. Поэтому в дальнейшем данную зависимость не учитывали.

Таблица 2

Значения частного коэффициента K_{PC6}

Ровность по толчкомеру ТХК-2, см/км	Значение K_{PC6}	Ровность по ПКРС-2, см/км	Значение K_{PC6}
до 60	1,25	до 300	1,25
70	1,15	350	1,20
80	1,07	400	1,12
90	0,96	500	0,98
100	0,92	600	0,84
120	0,75	700	0,72
140	0,67	800	0,65
160	0,63	900	0,59
200	0,57	1000	0,55
250	0,50	1100	0,51
300	0,43	1200	0,43
350	0,37	1400	0,33
400	0,31	1600	0,28
450	0,25	1800	0,24
более 500	0,20	2000	0,20

Таблица 3

Зависимости между показателями оценки продольной ровности разными средствами измерений и международным показателем IRI

Формула зависимости	№ формулы
ПКРС	
$ПКРС / IRI = 128$	2
$IRI = 0,0073 \cdot ПКРС - 0,33$	3
$IRI = 1,02 + 0,003564 (ПКРС)^{0,9}$	4
ТХК	
$IRI = 0,032 \cdot ТХК + 0,4$	5
$IRI = 0,0241 \cdot ТХК + 0,8253$	6

Примечание: (2) – зависимость, установленная проф. В.П. Жигаревым, на основании теоретического моделирования процесса колебательного движения транспортного средства [9];

(3)–(5) – эмпирические зависимости, представленные в ОДМ «Рекомендации по адаптации исходных данных в модели НДМ-4 к Российским условиям», разработанном под руководством проф. А.П. Васильева [10].

(6) – зависимость, полученная проф. О.А. Красиковым [11].

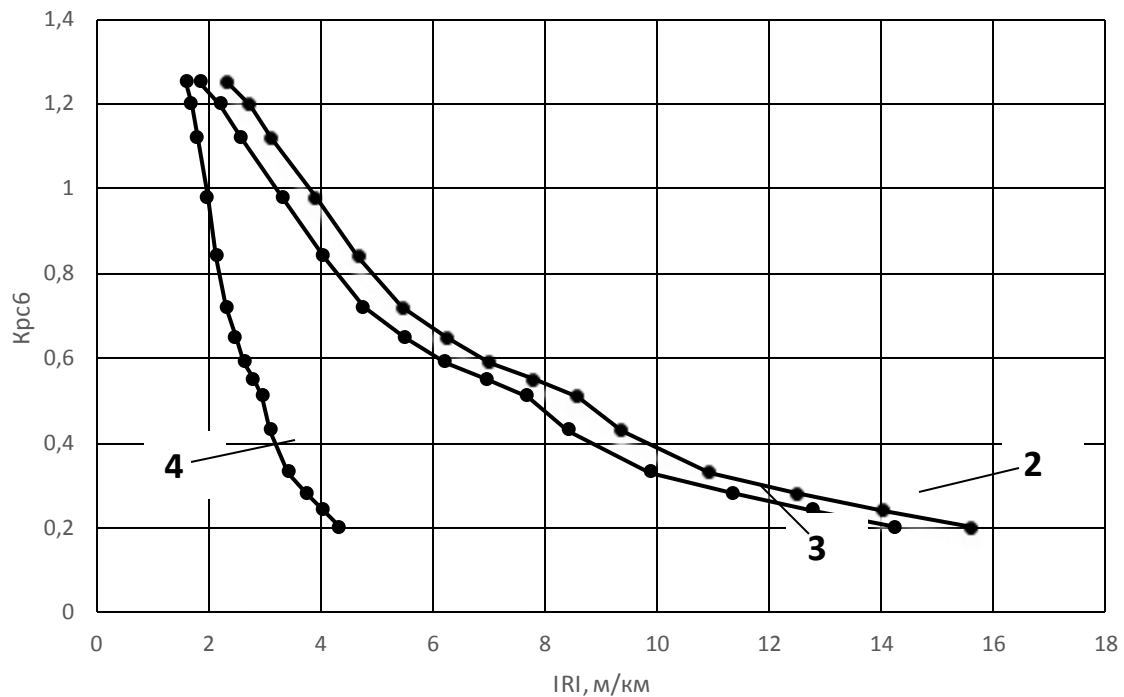


Рис.1. Зависимость $K_{рс6}$ от IRI (по зависимости для ПКРС): цифры на кривых обозначают вид исходной зависимости по табл.3

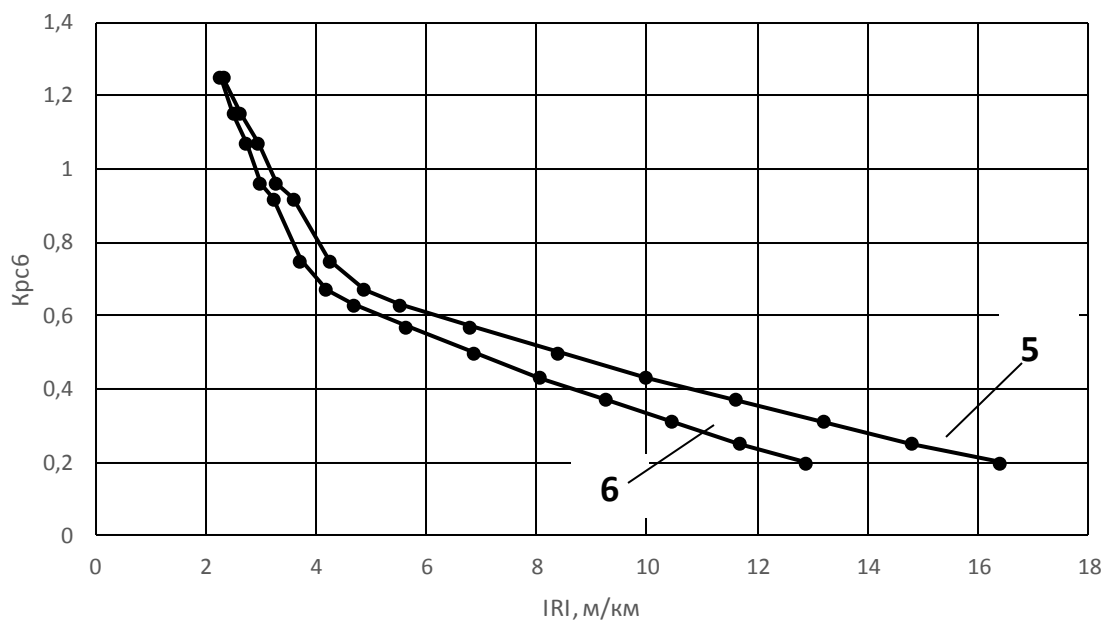


Рис.2. Зависимость $K_{рс6}$ от IRI (по зависимости для ТХК): цифры на кривых обозначают вид исходной зависимости по табл.3

Для установления общего вида функциональной зависимости между $K_{рс6}$ и IRI были обобщены и статистически обработаны данные, полученные по зависимостям 2-3 и 5-6 из табл. 3. Анализ был выполнен в

программе Statistica и показал, что для описания вида зависимости наиболее подходит степенная функция:

- на основании зависимостей между *IRI* и ПКРС

$$K_{PC6} = 2,325 \cdot IRI^{-0,75} \quad (7)$$

с коэффициентом корреляции $R = 0,971$;

- на основании зависимостей между *IRI* и ТХК

$$K_{PC6} = 2,543 \cdot IRI^{-0,85}, \quad (8)$$

с коэффициентом корреляции $R = 0,989$.

Графически результаты расчетов представлены на рис. 3 и 4.

Для установления фактических зависимостей между K_{PC6} и показателем *IRI* были выполнены измерения скоростей движения автомобилей и продольной ровности на экспериментальных участках автомобильных дорог «Северный обход Одинцово» и «Р-22 Каспий». Наблюдения на данных автомобильных дорогах проводились на 4 участках на каждом объекте. Общий объем измерений скорости составил 47894 и 51211 значений соответственно.

Измерение ровности проезжей части на этих участках были произведены передвижной лабораторией ДВС-4-ИК (МАДИ). Лаборатория осуществляла видеосъемку и измерение микропрофиля. Запись высотных отметок производилась с шагом 125 мм вдоль направления движения.

Для определения и фиксации скорости движения автомобилей были использованы радары КРИС-П. Эти передвижные фоторадары устанавливались на обочине контролируемого участка дороги. Данные зафиксированного скоростного режима автоматически сохранялись в журнале на флеш-накопителе, установленном в фоторадарном датчике. Далее данные импортировали с флеш-накопителя в единую базу данных на сервере поста централизованной обработки информации.

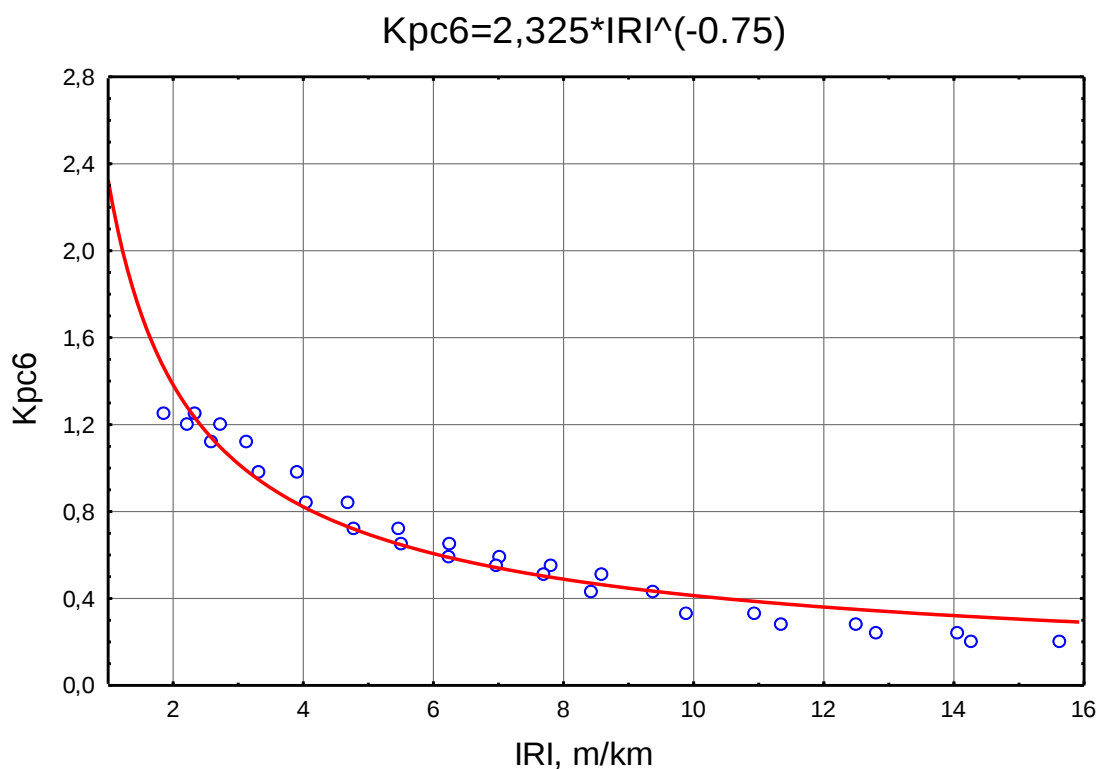


Рис. 3. Аналитическая зависимость K_{PC6} от IRI по формуле (7)

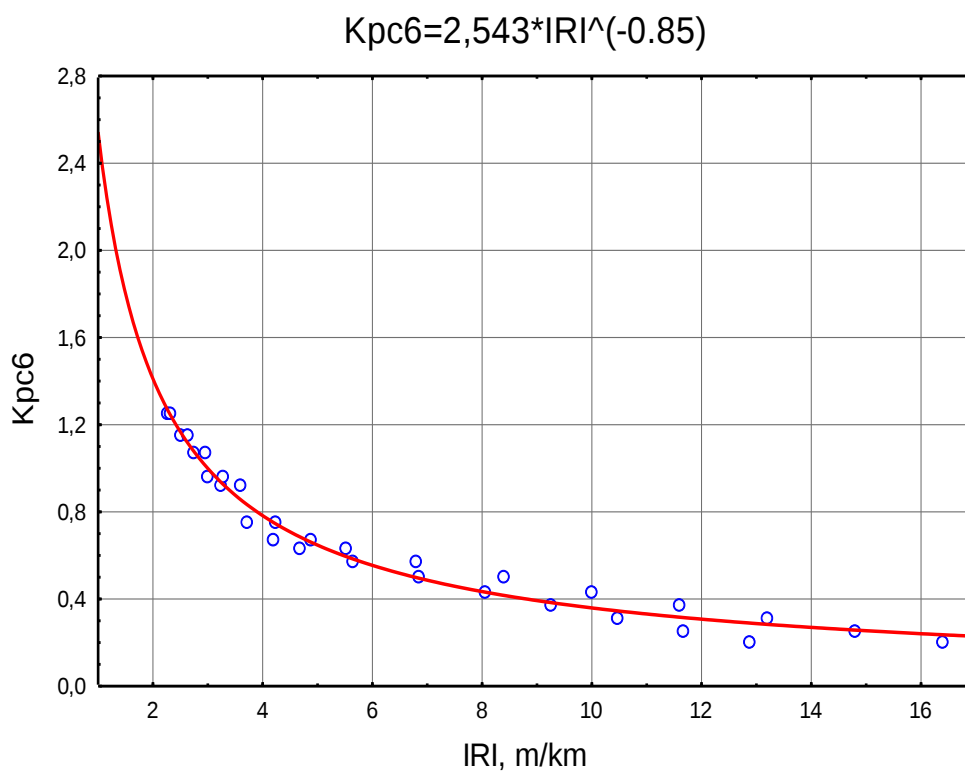


Рис. 4. Аналитическая зависимость K_{PC6} от IRI по формуле (8)

Согласно методике [5] максимальная скорость движения легкового автомобиля была определена по кумулятивным кривым с 85% обеспеченностью на каждом участке наблюдений. Частный коэффициент K_{PC6} был вычислен по формуле (1).

По данным о скорости и ровности дорожного покрытия была установлена функциональная зависимость (рис. 5):

$$K_{PC6} = 0,972 \cdot IRI^{-0,453} \quad (9)$$

Значение коэффициента корреляции $R=0,969$ говорит о высокой степени статистической взаимосвязи между исследуемыми показателями.

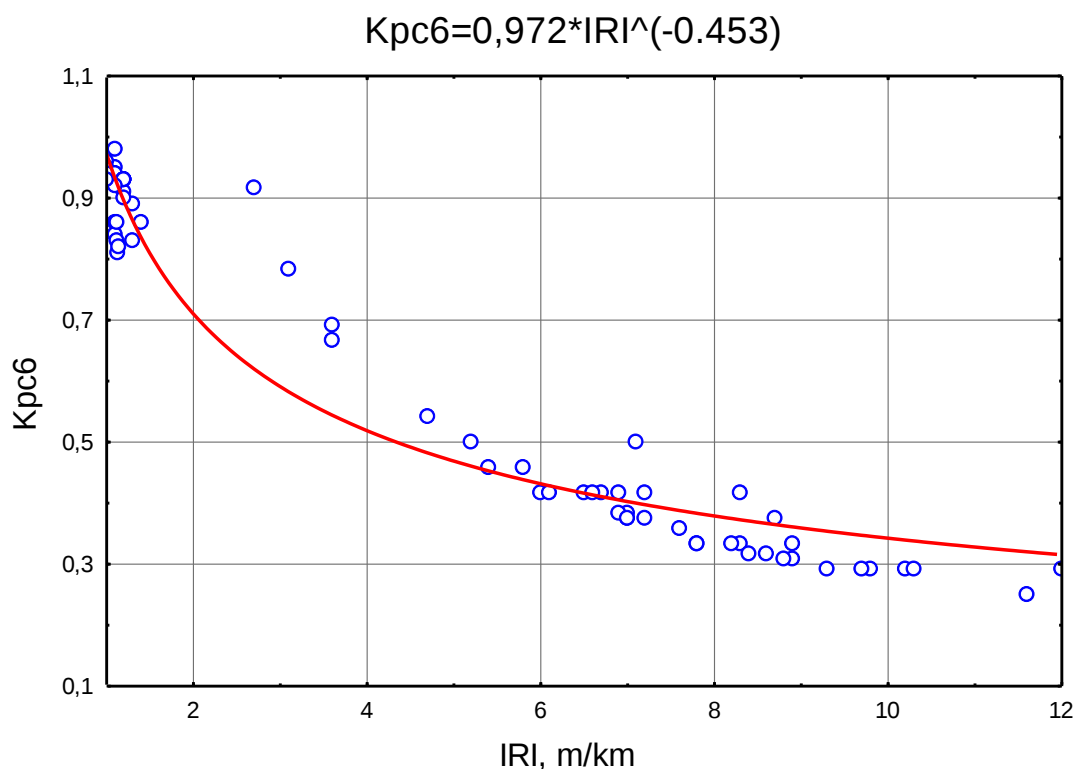


Рис. 5. Эмпирическая зависимость $K_{PC6} = f(IRI)$

На рис.6 представлены аналитические (по формулам 7, 8) и эмпирические (формула 9) зависимости. Очевидно, что данные зависимости имеют схожий вид, а в диапазоне значений $IRI > 10$ м/км практически совпадают.

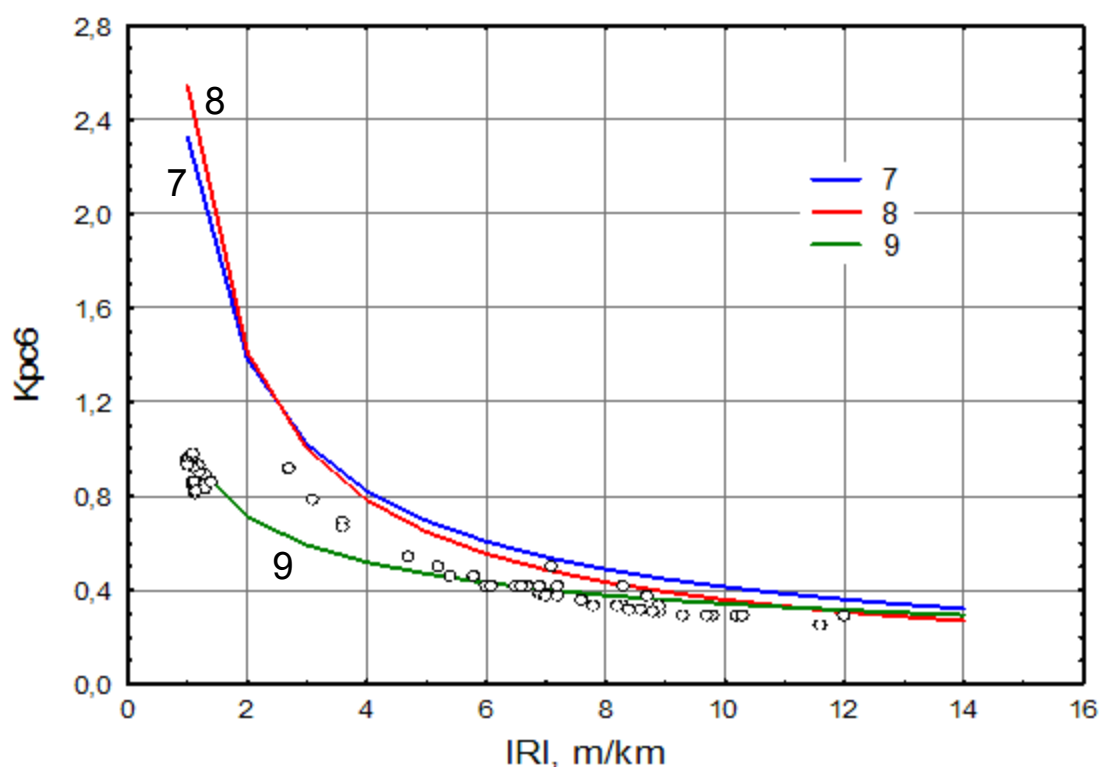


Рис. 6. Сопоставление аналитических и эмпирической зависимостей, $K_{PC6} = f(IRI)$:
цифры на кривых соответствуют номеру формулы

На рис.6 видно, что при значениях IRI менее 6 м/км существует расхождение между экспериментальной и аналитическими кривыми. Это можно объяснить тем, что в ходе эксперимента на опытных участках не было зафиксировано большого количества автомобилей, двигавшихся со скоростями более 100 км/ч, так как на исследуемых дорогах существует ограничение скоростного режима. Поэтому при вычислении фактической максимальной скорости движения с 85% обеспеченностью, отдельные экстремальные значения скорости автомобилей были нивелированы. Несмотря на эти расхождения, экспериментально установленная функция имеет высокую степень корреляции и может быть использована для вычисления K_{PC6} .

По итогам исследования сделаны следующие выводы:

1. Установлено, что степенная функция подходит для описания зависимости $K_{PC6} = f(IRI)$.
2. Функциональная зависимость при этом имеет вид $K_{PC6} = 0,972 \cdot IRI^{-0,453}$.
3. Для вычисления K_{PC6} при проведении комплексной оценки ТЭС АД могут быть рекомендованы значения из таблицы 4.

Таблица 4

Соответствие частного коэффициента K_{PC6} результатам измерений продольной ровности, проводимой различными средствами

Ровность по толчкомеру ТХК-2, см/км	Значение K_{PC6}	Ровность по ПКРС-2, см/км	Значение K_{PC6}	Ровность по профилометру (IRI), м/км	Значение K_{PC6}
ОДН 218.0.06-2002				Новое предложение	
до 60	1,25	до 300	1,25	менее 0,6	1,25
70	1,15	350	1,20	0,7	1,20
80	1,07	400	1,12	0,8	1,10
90	0,96	500	0,98	1,0	1,00
100	0,92	600	0,84	1,1	0,95
120	0,75	700	0,72	1,2	0,90
140	0,67	800	0,65	1,4	0,85
160	0,63	900	0,59	1,6	0,80
200	0,57	1000	0,55	1,9	0,75
250	0,50	1100	0,51	2,2	0,70
300	0,43	1200	0,43	3,1	0,60
350	0,37	1400	0,33	4,7	0,50
400	0,31	1600	0,28	7,7	0,40
450	0,25	1800	0,24	14,6	0,30
более 500	0,20	2000	0,20	более 14	0,20

Список литературы

1. Безопасные и качественные автомобильные дороги // О проекте. - URL: <http://bkdrf.ru/about20> (дата обращения 05.04.2019).

2. Справочная энциклопедия дорожника. Том 2. Ремонт и содержание автомобильных дорог / под ред. А.П. Васильева. - М.: РОСАВТОДОР и Арт Плюс, 2004. - 506 с.
3. ОДМ 218.4.039-2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. – Взамен ОДН 218.0.006-2002. - М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2018. – 73 с.
4. Инновации в проекте // Главная дорога: информационно-справочный портал. - М., 2013-2019. - URL: <http://www.m-road.ru/way/innovation.htm> (дата обращения 10.04.2019).
5. Васильев, А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: учебник для вузов / А.П. Васильев, В.М. Сиденко, под ред. А.П. Васильева. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.
6. ГОСТ 33101-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности. – Введ. впервые. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), 2016. – 18 с.
7. ГОСТ Р 56925-2016. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий. – Введ. Впервые. – М.: Стандартинформ, 2016 – 12 с.
8. ОДН 218.0.006-2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. – Взамен ВСН 6-90 – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2002. – 137 с.
9. Жигарев, В.П. Расчетные и экспериментальные исследования вибронегруженности и прочности элементов конструкции автотранспортных средств / В.П. Жигарев, В.Б. Борисевич // Сборник научных трудов МАДИ(ТУ). – М.: МАДИ(ГТУ), 1999. – 19 с.
10. Рекомендации по адаптации исходных данных в модели HDM-4 к Российским условиям. – Введ. Впервые. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2004. – 17 с.
11. ОДМ 218.11.001-2015. Методические рекомендации по учету увеличения динамического воздействия нагрузки по мере накопления неровностей и определению коэффициента динамичности в зависимости от показателя ровности. – Введ. Впервые. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2015. – 82 с.

References

1. URL: <http://bkdrf.ru/about20>
2. Vasiliev, A.P. *Spravochnaya enciklopediya dorozhnika. Tom 2. Remont i soderzhanie avtomobil'nyh dorog* (Road builder reference encyclopedia. Volume 2. Motor roads repair and maintenance), Moscow, ROSAVTODOR and Art Plus, 2004, 506 p.

3. Rekomendacii po diagnostike i ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nyh dorog. ODM 218.4.039-2018 (Recommendations for the diagnosis and assessment motor roads technical condition), Moscow, Federal Road Agency (ROSAVTODOR), 2004, 73p.
4. URL: <http://www.m-road.ru/way/innovation>
5. Vasiliev, A.P., Sidenko V.M. *Ekspluatatsiya avtomobil'nyh dorog i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya* (Highway Operation and Traffic Management), Moscow, Transport, 1990, 304 p.
6. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pokrytiya dorozhnye. Metody izmereniya rovnosti. GOST 33101-2014 (General use motor roads. Road coatings. Roughness measurement methods. Interstate Standart 33101-2014), Moscow, Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (ROSSTANDART), 2016, 18 p.
7. Dorogi avtomobil'nye i aerodromy. Metody izmereniya nerovnostej osnovanij i pokrytij. GOST R 56925-2016 (Methods for measuring unevenness of base, subbase and surface. State Standart 56925-2016), Moscow, STANDARTINFORM, 2016, 12 p.
8. Pravila diagnostiki i ocenki sostoyaniya avtomobil'nyh dorog. ODN 218.0.006-2002 (Diagnostics rules and assessment of the motor roads state), Moscow, Federal Road Agency (ROSAVTODOR), 2002, 137 p.
9. Zhigarev, V.P., Borisevich, V.B.. *Sbornik nauchnyh trudov MADI(TU)*, Moscow, 1999, pp. 19.
10. Rekomendacii po adaptatsii iskhodnyh dannyh v modeli HDM-4 k Rossijskim usloviyam (Initial data adapting recommendations for the HDM-4 model to the Russian conditions), Moscow, Federal Road Agency (ROSAVTODOR), 2004, 17 p.
11. Metodicheskie rekomendacii po uchetu uvelicheniya dinamicheskogo vozdejstviya nagruzki po mere nakopleniya nerovnostej i opredeleniyu koefficienta dinamichnosti v zavisimosti ot pokazatelya rovnosti (Methodological recommendations for taking into account the increase in the load dynamic effect as the accumulation of unevenness and the determination of the dynamic factor depending on the roughness index), Moscow, Federal Road Agency (ROSAVTODOR), 2015, 82 p.

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