

Современный подход к оценке транспортно- эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги»

DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.7

Углова Е.В., д.т.н., профессор РГСУ (г. Ростов-на-Дону)

Тиратурян А.Н., к.т.н., РГСУ (г. Ростов-на-Дону)

Шамраев Л.Г., к.т.н., начальник отдела диагностики и мониторинга состояния автомобильных дорог государственной компании «Автодор» (г. Москва)

Проводится анализ действующей в РФ нормативной базы по оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог. Показывается некорректность действующего подхода на основе коэффициентов обеспеченности расчётной скорости. Демонстрируется новый подход, внедряемый в настоящее время в государственной компании «Российские автомобильные дороги». Даются предложения по совершенствованию действующей нормативной базы.



Сводная ведомость КРС

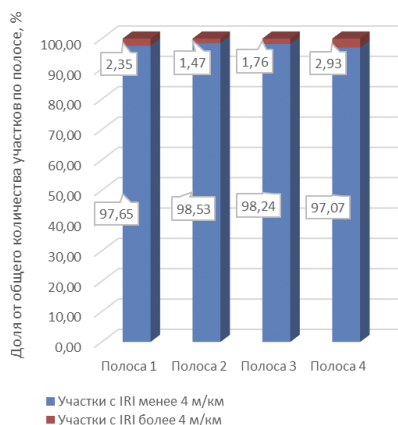
Дорога: 1210177 - М-1 Москва-Минск до границы РФ с Белоруссией (32 - 35)
Участок: (32 - 33) км
Год паспортизации: 2015

Начало участка, км	Конеч участка, км	Начало участка, Нестолбам	Конеч участка, Нестолбам	Коэффициенты расчетной скорости										Комплексный показатель КИД	Минимальный КРС
				Крс1	Крс2	Крс3	Крс4	Крс5	Крс6	Крс7	Крс8	Крс9	Крс10		
32,000	32,090	31+966	32+077	1,35	1,28	1,35	1,25	1,00	0,95	0,91	1,00	0,95	1,00	0,91	Крс7
32,090	32,100	32+077	32+087	1,35	1,28	1,35	1,25	1,00	0,95	0,91	1,00	0,77	1,00	0,77	Крс9
32,100	32,158	32+087	32+145	1,35	1,28	1,35	1,25	1,00	0,73	0,91	1,00	0,77	1,00	0,73	Крс6
32,158	32,190	32+145	32+177	1,35	1,28	1,35	1,10	1,00	0,73	0,91	1,00	0,77	1,00	0,73	Крс6
32,190	32,200	32+177	32+187	1,35	1,28	1,35	1,10	1,00	0,73	0,91	1,00	1,16	1,00	0,73	Крс6
32,200	32,290	32+187	32+277	1,35	1,28	1,35	1,10	1,00	0,73	0,91	1,00	1,16	1,00	0,73	Крс6
32,290	32,300	32+277	32+287	1,35	1,28	1,35	1,10	1,00	0,73	0,91	1,00	1,25	1,00	0,73	Крс6
32,300	32,390	32+287	32+377	1,35	1,34	1,35	1,10	1,00	0,44	0,91	1,00	1,25	1,00	0,44	Крс6
32,390	32,400	32+377	32+387	1,35	1,34	1,35	1,10	1,00	0,44	0,91	1,00	0,90	1,00	0,44	Крс6
32,400	32,455	32+387	32+442	1,35	1,34	1,35	1,10	1,00	0,51	0,91	1,00	0,90	1,00	0,51	Крс6
32,455	32,490	32+442	32+477	1,35	1,34	1,35	1,25	1,00	0,51	0,91	1,00	0,90	1,00	0,51	Крс6
32,490	32,500	32+477	32+487	1,35	1,34	1,35	1,25	1,00	0,51	0,91	1,00	0,88	1,00	0,51	Крс6
32,500	32,590	32+487	32+577	1,35	1,34	1,35	1,25	1,00	0,69	0,91	1,00	0,88	1,00	0,69	Крс6
32,590	32,600	32+577	32+587	1,35	1,34	1,35	1,25	1,00	0,69	0,91	1,00	0,84	1,00	0,69	Крс6
32,600	32,690	32+587	32+677	1,35	1,34	1,35	1,25	1,00	1,07	0,91	1,00	0,84	1,00	0,84	Крс9
32,690	32,700	32+677	32+687	1,35	1,34	1,35	1,25	1,00	1,07	0,91	1,00	1,25	1,00	0,91	Крс7
32,700	32,790	32+687	32+777	1,35	1,28	1,35	1,25	1,00	1,09	0,91	1,00	1,25	1,00	0,91	Крс7
32,790	32,800	32+777	32+787	1,35	1,28	1,35	1,25	1,00	1,09	0,91	1,00	0,87	1,00	0,87	Крс9
32,800	32,854	32+787	33+000	1,35	1,28	1,35	1,25	1,00	1,09	0,91	1,00	0,87	1,00	0,87	Крс9
32,854	32,900	33+000	33+046	1,35	1,28	1,35	1,25	1,00	1,09	0,91	1,00	1,25	1,00	0,91	Крс7
32,900	32,947	33+046	33+093	1,35	1,28	1,35	1,25	1,00	1,12	0,91	1,00	1,25	1,00	0,91	Крс7
32,947	33,000	33+093	33+146	1,35	1,30	1,35	1,25	1,00	1,12	0,91	1,00	1,25	1,00	0,91	Крс7
33,000	33,100	33+146	33+246	1,20	1,30	1,20	1,25	1,25	1,11	1,25	1,00	1,25	1,25	1,11	Крс6

Рис. 2. Сводная ведомость K_{PC} участка дороги М-1 «Беларусь»

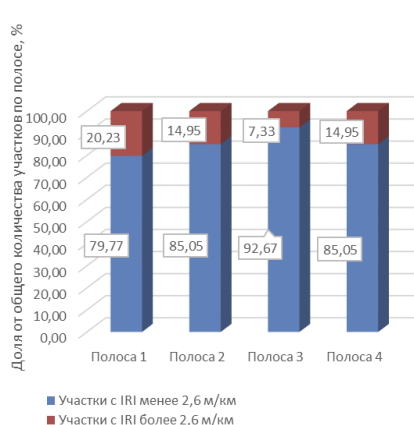
ГОСТ 33220-2015

М-4 «Дон» км 287+800–321+300

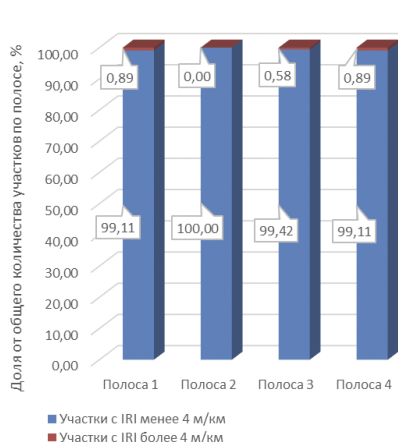


СТО АВТОДОР 10.2-2014

М-4 «Дон» км 287+800–321+300



М-4 «Дон» км 599+000–633+000



М-4 «Дон» км 599+000–633+000

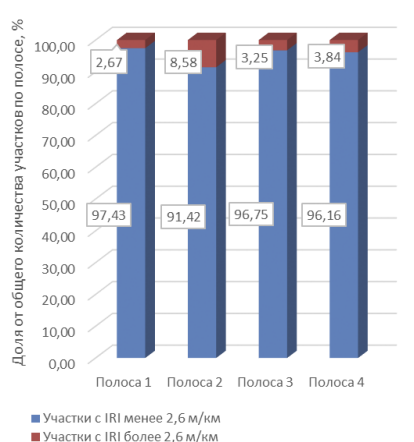


Рис. 3. Соответствие участков автомобильной дороги М-4 «Дон» требованиям к продольной ровности

- состояние и прочность дорожной одежды (K_{PC}) (при этом значение коэффициента прочности в расчёт K_{PC} не входит);
- ровность в поперечном направлении (глубину колеи) (K_{PC9});
- безопасность движения (K_{PC10}).

Значение итогового коэффициента обеспеченности расчётной скорости K_{PC} на каждом участке для осенне-весеннего расчётного по условиям движения периода года принимают равным наименьшему из всех частных коэффициентов на этом участке (рис. 2).

Таким образом, сопоставляя перечень полевых работ, предусмотренных ОДН 218.0.006–2002, с оценкой эксплуатационного состояния дороги, можно сделать следующие выводы.

1. При плановой (периодической) диагностике определяются не все требуемые для расчёта значения частных коэффициентов расчётной скорости, что приводит к необходимости проведения дополнительных работ (паспортизация, первичная диагностика) либо к выполнению расчётов на основе недостаточной (недостовой) информации.

2. Ввиду того, что за итоговый коэффициент принимается минимальный частный коэффициент, изменение транспортно-эксплуатационных характеристик дороги после проведения ремонтных работ зачастую не влияет на итог, например из-за несоответствия геометрических параметров участка или расстояний видимости нормативным требованиям.

3. Изменение состояния дороги за период между обследованиями оце-

нивают по величине прироста комплексного показателя эксплуатационного состояния дороги; отрицательное значение прироста свидетельствует об ухудшении состояния дороги за оцениваемый период по сравнению с первоначальным, но не раскрывает причин ухудшения.

4. ОДН 218.0.006–2002 предполагает использование для оценки параметров эксплуатационного состояния устаревших приборов и методов (например, толчкомера, прогибомера и др.), при этом не представлен порядок использования результатов оценки продольной ровности в единицах IRI, данных исследований несущей способности дорожных конструкций методами динамического нагружения, оценки колеиности ультразвуковыми и лазерными колеемерами и пр. Соответственно, имея подобные результаты обследований (полученные современными методами на современном оборудовании), представляется затруднительным определение таких коэффициентов обеспеченности расчётной скорости, как K_{PC6} , K_{PC8} , K_{PC9} .

Для устранения приведённых проблем технической политикой Государственной компании «Российские автомобильные дороги» предусмотрен подход к управлению

состоянием автомобильных дорог, основанный на анализе их остаточного рабочего ресурса и включающий в себя следующие механизмы:

- нормирование и ежегодная оценка уровня эксплуатационного состояния дороги по каждому году периода гарантийных обязательств подрядных организаций;
- планирование всех видов ремонтов на среднесрочную и долгосрочную перспективу на основе оценки остаточного ресурса эксплуатируемых дорожных конструкций, включающего анализ изменения параметров транспортного потока и состояния покрытий;
- внедрение технологий моделирования состояния дорожных конструкций, которые позволят аналитико-эмпирическим методом определять физико-механические характеристики каждого конструктивного элемента дорожной одежды, включая грунты рабочего слоя земляного полотна, что существенно повысит эффективность принимаемых решений при назначении ремонтных мероприятий;
- внесение в договоры и соглашения с подрядными организациями и концессионерами более

жёстких требований к потребительским свойствам автомобильной дороги, таких, например, как нормирование значений продольной ровности по годам эксплуатации.

Указанный подход позволяет практически применять повышенные требования к качеству комплексной инфраструктурной услуги, предоставляемой пользователям автомобильных дорог, а также спрогнозировать соответствие дорожных покрытий нормативным требованиям (по ГОСТ 33220–2015 и СТО АВОТОДОР 10.2–2014) (рис. 3) и оптимизировать стратегию содержания и своевременного планирования ремонтно-восстановительных работ по годам эксплуатации с учётом фактической интенсивности и состава движения.

Выполнение работ по диагностике автомобильных дорог Государственной компании осуществляет ООО «Автодор-Инжиниринг». Ежегодно определяется общая оценка качества автомобильных дорог по фактическому уровню эксплуатационного содержания и транспортно-эксплуатационным показателям с применением методов измерений и требований, изложенных в межгосударственных стандартах (таблица 1)

Таблица 1. Методы и требования межгосударственных стандартов

Номер	Наименование	Требования
ГОСТ 32729–2014 (введён в действие с 01.02.2015)	Дороги автомобильные общего пользования. Метод измерения упругого прогиба нежёстких дорожных одежд для определения прочности	Измерения упругого прогиба нежёстких дорожных одежд выполняют методами динамического и статического нагружений. При методе динамического нагружения падающим грузом значение упругого прогиба нежёсткой дорожной одежды на измерителях прогиба и параметры чаши прогиба определяют от действия заданной, динамической (кратковременной) нагрузки, передаваемой на дорожное покрытие через нагрузочную плиту (жёсткий штамп).
ГОСТ 32825–2014 (введён в действие с 01.07.2015)	Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения геометрических размеров повреждений	В стандарте предусмотрены методы оценки типовых повреждений дорожных покрытий, таких как выбоина, сдвиг, просадка, колея, выкрашивание, выпотевание, пролом и т.д.
ГОСТ 33078–2014 (введён в действие с 01.12.2015)	Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием	Сцепление колеса автомобиля с покрытием характеризуется величиной показателя коэффициента сцепления, определяемого при полной блокировке измерительного колеса на предварительно увлажнённой поверхности покрытия автомобильной дороги при стандартных условиях и последующего вычисления отношения полученной величины к величине нормальной реакции дорожного покрытия.
ГОСТ 33101–2014 (введён в действие с 01.08.2016)	Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения ровности	Оценка продольной ровности покрытия выполняется по ординатам микропрофиля с помощью высокоскоростных профилометрических установок с последующим расчётом международного показателя ровности IRI.
ГОСТ 33220–2015 (введён в действие с 01.12.2015)	Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию	Установлены требования к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог общего пользования для обеспечения безопасности дорожного движения.

Таблица 2. Требования стандартов Государственной компании

Номер	Наименование	Требования
СТО АВТОДОР 2.4-2013	Оценка остаточного ресурса нежестких дорожных конструкций автомобильных дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги» (приказ от 01.07.2013 № 127)	Оценка состояния дорожных конструкций на текущем этапе эксплуатации, определение их остаточного ресурса и разработка стратегии сохранности и ремонта дорожных конструкций. Изложены порядок расчёта остаточного ресурса дорожных конструкций на текущем этапе эксплуатации, рекомендации по обоснованию проектных решений на стадии разработки проекта реконструкции с учётом остаточного ресурса дорожных конструкций.
СТО АВТОДОР 10.1-2013	Определение модулей упругости слоёв эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения (приказ от 05.09.2013 № 179)	Оценка модулей упругости слоёв эксплуатируемых дорожных конструкций (нежестких дорожных одежд) автомобильных дорог. Определяет метод оценки модулей упругости слоёв эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установок ударного нагружения типа FWD, порядок проведения измерений.
СТО АВТОДОР 10.6-2015	Комплексный динамический мониторинг нежестких дорожных одежд. Правила проведения (приказ от 22.07.2015 № 151)	Определяет порядок проведения комплексного динамического мониторинга дорожных одежд с целью определения состояния, прочностных и расчётных характеристик материалов конструктивных слоёв эксплуатируемых дорожных одежд при разработке проектов реконструкции, капитальных ремонтов и ремонтов автомобильных дорог, а также с целью назначения стратегии сохранности дорожной одежды.
СТО АВТОДОР 10.2-2014	Оценка транспортно-эксплуатационного состояния дорожных одежд автомобильных дорог Государственной компании «Автодор» на период выполнения гарантийных обязательств подрядными организациями (приказ от 20.01.2015 № 7)	Устанавливает требования к значениям технико-эксплуатационных показателей, определяющих транспортно-эксплуатационное состояние дорожных одежд автомобильных дорог Государственной компании «Автодор» в период выполнения гарантийных обязательств подрядными организациями.

Таблица 3. Передвижные лаборатории Государственной компании «Автодор»

Тип, марка лаборатории	Назначение	Измеряемые параметры
Диагностическая лаборатория КП-514 СМП	Измерение характеристик эксплуатационного состояния по ОДН 218.0.006-2002, определение расстояний между километровыми столбами и их координат в системе WGS-84, географических координат всех элементов дороги; измерение протяжённости автомобильных дорог по ОДМ 218.3.005-2010. При визуальной оценке состояния дорожной одежды фиксируются все дефекты поверхности проезжей части, перечень и характеристики которых приведены в ГОСТ 32825-2014.	План, продольный и поперечный профиль, глубина колеи. Продольная ровность по показателю IRI согласно ГОСТ 33101-2014, по толчком. Привязка к местности результатов измерений с применением технологии ГЛОНАСС.
Передвижная лаборатория Primax-1500 FWD	Оценка прочности, несущей способности слоёв дорожных конструкций и их элементов, контроль степени уплотнения, прогноз остаточной работоспособности дорожных конструкций на участках дорог с усовершенствованным типом нежестких дорожных одежд.	Фактический модуль упругости в соответствии с п. 5.1 ГОСТ 32729-2014. Фактические модули слоёв дорожной конструкции в соответствии с СТО АВТОДОР 10.1-2013.
Передвижная лаборатория геозондирования дорожных конструкций	Контроль скрытых работ, специальные виды обследования, комплексный динамический мониторинг.	Определение толщин дорожных одежд, дефектов уплотнения земляного полотна, изменения уровня грунтовых вод.
Передвижная дорожная диагностическая лаборатория с прибором ПКРС-2 РДТ	Оценка коэффициента сцепления колеса с покрытием.	Определение коэффициента сцепления в соответствии с п. 4.1. ГОСТ 33078-2014.
Передвижная лаборатория контроля качества дорожной разметки и знаков	Сплошной инструментальный эксплуатационный и приёмочный контроль геометрических параметров дорожной разметки, выборочный контроль характеристик дорожных знаков.	Оценка светотехнических характеристик и геометрических параметров дорожной разметки на скорости до 40 км/ч. Определение коэффициента свето-возвращения дорожной разметки. Привязка к местности результатов измерений с применением технологии ГЛОНАСС.

и в стандартах Государственной компании (таблица 2).

К сфере деятельности ООО «Автодор-Инжиниринг» относятся автомобильные дороги, находящиеся в доверительном управлении Государственной компании. Оценить их качество позволяют следующие цифры: протяжённость автомобильных дорог, соответствующих всем требованиям к эксплуатационным показателям, составила 1932,5 км (67,6% от общей протяжённости дорог Государственной компании), в целом по сети федеральных автомобильных дорог этот показатель составил 52,8%, на сети дорог регионального значения — 37,1%. Качество дорог, находящихся в доверительном управлении Государственной компании, позволило на целом ряде участков автомобильной дороги М-4 «Дон» поднять разрешённую скорость движения до 110–130 км/ч.

Основными задачами диагностики в настоящий момент являются:

- организация мониторинга эксплуатационного состояния автомобильных дорог на текущем этапе эксплуатации дороги;
- систематизация информации, содержащейся в проектной и рабочей документации по расчёту дорожной одежды и в базах дорожных данных;
- организация детальной оценки состояния элементов дорожной конструкции на участках деградации продольной ровности;
- апробация новых приборов и оборудования для проведения обследований, подготовка предложений по изменению нормативной базы в части диагностики;
- реализация повышенных требований СТО Государственной компании по оценке транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог, разработка комплексной системы оценки ТЭС для объектов концессионных соглашений;
- синхронизация данных диагностики автомобильных дорог с базами данных АИС ИССО-Н и ГИС Государственной компании «Автодор».

Для технического обеспечения решения таких задач предназначен комплекс передвижных лабораторий (таблица 3).

Лаборатории регулярно принимают участие в сопоставительных испытаниях отечественного и зарубежного диагностического оборудования по оценке ровности, сцепных свойств дорожного покрытия, а также прочности дорожных конструкций: в 2014 году на автополигоне ФГУП «НАМИ» на участках автомобильных дорог М-1 «Беларусь» и М-4 «Дон» (испытания установок FWD производства фирм Grontmij и Dynatest, испытания оборудования по контролю качества дорожной разметки и знаков); в 2015 году проведены испытания оборудования по оценке колейности дорожного покрытия с участием лабораторий «Спецдортехника», «МАДИ ПАД» и «МАДИ СЭД», НПО «Регион», испытания установки ПКРС-2 РДТ для оценки сцепных свойств дорожного покрытия.

Для расчёта фактических показателей основных направлений деятельности Государственной компании, характеризующих состояние сети автомобильных дорог по комфортности и безопасности для пользователей (таких как протяжённость дорог, соответствующих нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям; протяжённость дорог, обслуживающих движение в режиме перегрузки), используется база дорожных данных ГИС и программный комплекс «Титул-2005».

ГИС, включающая результаты полевых и камеральных работ, а также данные обследований предыдущих лет, результаты диагностики, инвентаризации, земельных работ, сведения

об интенсивности, ДТП, объектах сервиса, дорожных работах, гарантийные паспорта, позволяет Государственной компании решать комплекс вопросов по управлению состоянием автомобильной дороги, упорядочивать оформление земельных участков, расположенных в границах полосы отвода, и придорожной полосы, выполнять мониторинг состояния дороги и дорожных сооружений в процессе эксплуатации.

Государственная компания ориентируется на переход к новым формам договорных отношений: заключение концессионных соглашений (по схеме контрактов жизненного цикла) и комплексных долгосрочных контрактов строительства (реконструкции), ремонта и содержания участков дорог.

В связи с этим Государственной компанией применяется следующая система требований к транспортно-эксплуатационным показателям автомобильной дороги (далее — ТЭП):

- в договоры на строительство (реконструкцию) участков дороги в раздел гарантийных обязательств внесены более жёсткие требования к ровности по показаниям прибора «толчкомет ТХК-2» и показателю IRI (таблица 4);
- при заключении концессионных соглашений (по схеме контрактов жизненного цикла) и комплексных долгосрочных контрактов строительства (реконструкции), ремонта и содержания участков дорог исполнитель должен обеспечить следующие нормативные

Таблица 4. Требования к ровности по показаниям прибора «толчкомет ТХК-2» и показателю IRI

Наименование показателя	Период эксплуатации (действия гарантийных обязательств) для автомобильной дороги I категории				
	При приёмке Объекта в эксплуатацию и в течение 1-го года эксплуатации	2-й год	3-й год	4-й год	5-й год
Показатель продольной ровности по толчкометру, см/км	55	65	75	85	95
Международный показатель ровности IRI, м/км	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6

Таблица 5. Нормативные значения ТЭП, конкретизированные по годам эксплуатации и межремонтным периодам

№ п/п	Наименование ТЭП	Ед. изм.	Наименование и значение ТЭП			Значение ТЭП на Дату истечения срока действия Соглашения	Периодичность проведения оценки
			При приёмке Объекта в эксплуатацию	С начала по 4-й год эксплуатации	В период эксплуатации с 5-го года эксплуатации до даты начала работ по Капитальному ремонту		
Покрытие проезжей части, краевые полосы у обочин, полосы безопасности на разделительной полосе							
1. Ровность дорожного покрытия							
1.1.	Продольная ровность (значения ТЭП по IRI)	м/км	Менее 1,4 на всей протяжённости	Менее 1,9 на всей протяжённости	Менее 1,9 на 85% протяжённости; от 1,9 до 2,2 на 15% протяжённости	Менее 1,9 на всей протяжённости	весенний, осенний периоды
			Критическим значением ТЭП продольной ровности является наличие на более чем 15% протяжённости Участка проведения измерений значений ровности свыше 2,2 м/км				
1.2.	Поперечная ровность	мм	Не определяется	не более 5% до 10 мм	не более 15% до 20 мм	не более 5% до 10 мм	весенний, осенний периоды
			Критическим значением ТЭП поперечной ровности является её наличие (свыше 20 мм) более 15% от протяжённости Участка проведения измерений или наличие участков с поперечной ровностью свыше 40 мм				
2.	Коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием в весенне-летне-осенний период	–	Не менее 0,3	Не менее 0,3	Не менее 0,3	Не менее 0,3	весенний, осенний периоды
			Критическим значением ТЭП коэффициента сцепления является снижение его величины до 0,3 на более чем 15% протяжённости Участка проведения измерений				
3.	Коэффициент прочности дорожной одежды	–	Не менее 1,3	Не определяется	Не менее 1,0	Не менее 1,25	1 раз в год (весенний период)

Таблица 6. Уровни сохранности дорожной конструкции

Бальная оценка визуального состояния дорожного покрытия	Коэффициент прочности дорожной одежды			
	Равен или выше 1,25	1,12–1,25	1,0–1,12	Менее 1,0
4,5–5,0	Норматив.	Норматив.	Норматив.	Удовлетворит.
4,0–4,5	Норматив.	Удовлетворит.	Удовлетворит.	Удовлетворит.
3,5–4,0	Удовлетворит.	Удовлетворит.	Удовлетворит.	Неудовлет.
Менее 3,5	Неудовлет.	Неудовлет.	Неудовлет.	Неудовлет.

значения ТЭП, конкретизированные по годам эксплуатации и межремонтным периодам (таблица 5);

- по результатам балльной оценки состояния покрытия и определения коэффициента прочности дорожной одежды выделяется три уровня сохранности дорожных конструкций (таблица 6):

1) **нормативный**: ТЭП соответствуют допустимым значениям, участок

с данной дорожной конструкцией не требует проведения ремонтных работ;

2) **удовлетворительный**: имеется объективная причина снижения уровня ниже нормативного до проведения следующего обследования, в связи с чем требуется проведение дополнительного обследования для выявления причин появления дефектов и расчёта остаточного ресурса дорожной конструкции согласно СТО АВТОДОР 2.4–2013;

3) **неудовлетворительный**: ТЭП ниже допустимых значений, и состояние дорожной конструкции требует назначения ремонтных работ.

Коэффициент прочности дорожной одежды является неотъемлемой составляющей оценки состояния автомобильных дорог. Основной методикой определения прочности дорожных одежд автомобильных дорог является измерение упругого прогиба. При динамическом методе величина упругого прогиба определяется от действия кратковременной динамической нагрузки, передаваемой на покрытие через жёсткий металлический штамп. Для проведения испытаний применяются специальные установки, классифицирующиеся как дефлектометры падающего груза (FWD), широко распространённые в странах Европы и Северной Америки.

На I Международном форуме «Инновации в дорожном строительстве» первый заместитель председателя правления по технической политике Государственной компании

И.А. Урманов поставил задачу организовать управление состоянием автомобильных дорог на основе оценки остаточного ресурса: если действующий механизм назначения ремонтов основан на данных диагностики, то в подходе Государственной компании учитывается воздействие транспортных нагрузок за прошедший период эксплуатации и комплексная оценка состояния всех элементов дорожной конструкции. Применение установки FWD позволяет выявить причины и оценить, в каком элементе дорожной конструкции происходит ускоренная деградация, а отсюда — повысить точность и эффективность расходования средств. Государственной компанией утверждён комплекс мероприятий по формированию системы оценки остаточного ресурса.

Для решения поставленных задач ООО «Автодор-Инжиниринг» эксплуатирует установку ударного нагружения FWD Primax 1500 (рис. 4). Ключевой особенностью данной установки является возможность регистрации чаши прогиба дорожной одежды на расстоянии до 2,5 м от точки приложения нагрузки с помощью датчиков-геофонов, установленных на рейке.

Механизм ударного нагружения, смонтированный на данной установке, позволяет имитировать нагрузку на покрытие нежёсткой дорожной одежды в пределах от 2 до 150 кН, время контактного взаимодействия на покрытие дорожной одежды составляет 30 мс.

Нормативной базой для применения установок ударного нагружения FWD являются СТО АВТОДОР 10.1–2013 [3] и ГОСТ 32729–2014 [4, 5], в которых даны основные требования к применяемому оборудованию, порядок и схемы проведения инструментальных измерений при проведении диагностики прочности дорожной одежды.

Производительность установки Primax 1500 составляет приблизительно 40 км в смену, что позволяет производить линейные испытания прочности дорожной одежды на достаточно протяжённых участках автомобильных дорог и, самое главное, накапливать большие объёмы статистических данных о фактических значениях модулей упругости нежёстких дорожных одежд в реальных условиях их эксплуатации.

При этом несомненно встаёт вопрос соответствия значений фактического общего модуля упругости дорожной одежды, получаемого с использованием Primax 1500, значениям, закладываемым проектировщиками на стадии разработки проектов ремонта или реконструкции автомобильных дорог по ОДН 218.046–01. В связи с этим специалистами ООО «Автодор-Инжиниринг» совместно с Ростовским государственным строительным университетом разработана инструкция по корректировке результатов оценки модулей упругости слоёв нежёстких дорожных конструкций, полученных



Рис. 4. Установка ударного нагружения FWD PRIMAX 1500

с использованием установки ударного нагружения (FWD), и приведение их к нормативной базе проектирования автомобильных дорог Российской Федерации.

В основе разработанной инструкции лежит зависимость приведения динамического упругого прогиба в точке нагружения, регистрируемого с использованием установки FWD (время нагружения 0,03 с), к упругому прогибу при расчётном времени (0,1 с в соответствии с ОДН 218.046–01) приложения нагрузки, записываемая в следующем виде:

$$l_{p,вр} = (0,3 \times h / h_1 + 1,1) \times l_d^0, \quad (1.1)$$

где:

h — толщина слоёв из материалов, содержащих органическое вяжущее;

h_1 — минимальная толщина слоёв из указанных материалов, равная 100 мм;

$l_{p,вр}$ — расчётный упругий прогиб, мм;

l_d^0 — фактический динамический упругий прогиб, зарегистрированный с использованием установки ударного нагружения (FWD), мм.

Для полученных расчётных значений упругого прогиба производится расчёт значений общего модуля упругости $E_{p,вр}^{\phi}$ дорожной одежды по формуле [1]:

$$E_{p,вр}^{\phi} = pD(1 - \mu^2) / l_{p,вр}, \quad (1.2)$$

где:

p — среднее удельное давление, развиваемое нагрузкой, МПа (для FWDp=0,7 МПа);

D — диаметр площадки контактного взаимодействия, см (для FWDD=30 см);

μ — коэффициент Пуассона (принимается равным 0,35);

$l_{p,вр}$ — упругий прогиб покрытия дорожной одежды, приведённый к расчётному времени приложения нагрузки, см.

С 2013 года с использованием установки Primax 1500 проведена оценка прочности дорожных одежд 1,5 тыс. км автомобильных дорог М-4 «Дон» и М-1 «Беларусь». На большинстве участков измерения проводились с шагом 100 м, что

позволяло накапливать значительные объёмы статистических данных о прочности дорожной конструкции, а также делать вывод о реальной однородности прочности дорожной одежды. Для оценки однородности прочности дорожной конструкции были рассчитаны средние значения общих модулей упругости, их стандартные отклонения (s) (формула 1.3) и значения коэффициента вариации (C_v) (формула 1.4).

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}, \quad (1.3)$$

где:

n — объём выборки;

E_i — i -й модуль упругости, МПа;

\bar{E} — среднее значение модуля упругости, МПа.

$$C_v = \frac{s}{\bar{E}}, \quad (1.4)$$

Далее приводятся результаты оценки прочности участков автомобильных дорог, различающихся дорожной конструкцией, временем нахождения в эксплуатации и, соответственно, транспортно-эксплуатационным состоянием (рис. 5, 6).

Все полученные значения фактического общего модуля упругости дорожной конструкции на стадии эксплуатации сопоставлялись со значениями минимального требуемого общего модуля упругости $E_{тр.мин}$, рассчитанного исходя из фактической интенсивности движения на

обследованных участках дорог, полученной по данным пунктов учёта интенсивности движения Государственной компании «Российские автомобильные дороги».

Как видно из представленных графиков (рис. 5, 6), применение установки ударного нагружения FWD позволяет осуществлять диагностику прочности нежёстких дорожных одежд на протяжённых участках автомобильных дорог и определять локальные участки снижения прочности дорожной одежды ниже заданного на стадии проекта значения, что делает эту информацию крайне ценной для организаций, занимающихся содержанием автомобильных дорог. Помимо этого, возникает возможность анализа не только абсолютных значений общего модуля упругости дорожной одежды, но и оценки однородности данного показателя. Так, например, коэффициент вариации общего модуля упругости дорожной одежды на относительно новом участке, находящемся в эксплуатации 3 года (рис. 1), изменяется в диапазоне 10–18%, в то время как коэффициент вариации прочности дорожной одежды на участках автомобильных дорог, находящихся в эксплуатации 5–10 лет и свыше 10 лет, может достигать значений 26–56% (рис. 6), что свидетельствует о значительной неоднородности дорожной одежды, и что необходимо учитывать при планировании ремонтных мероприятий.

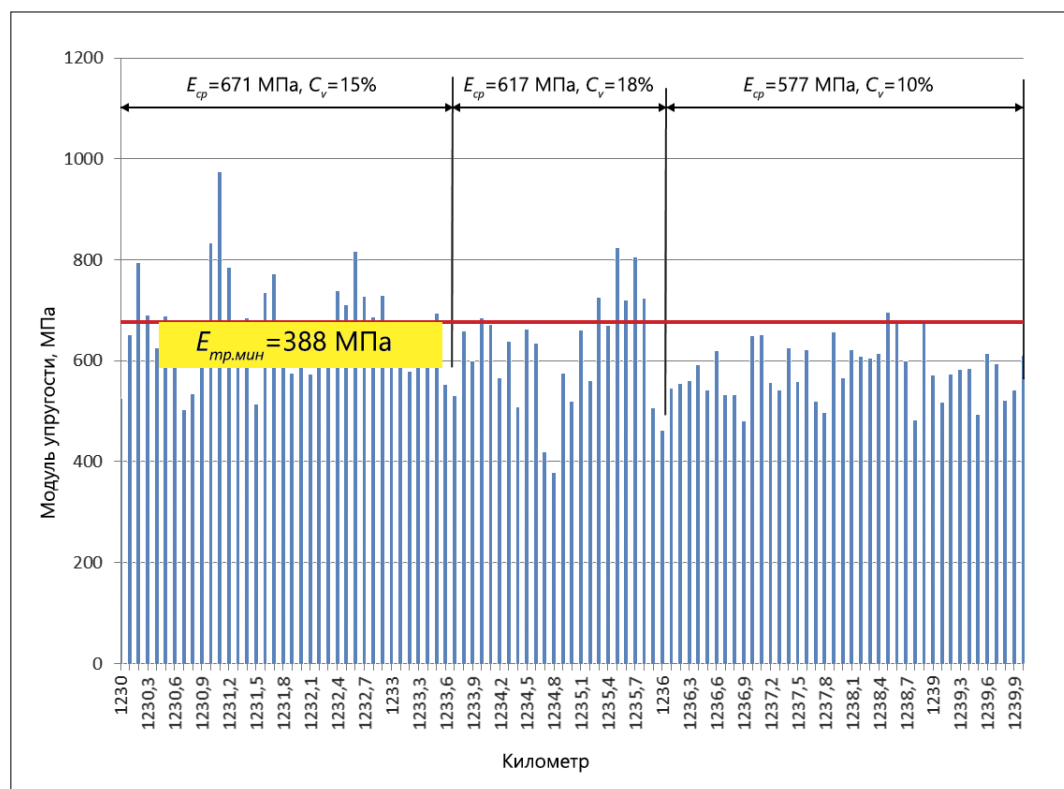


Рис. 5. Общий модуль упругости дорожной одежды на участке № 1 (автомобильная дорога М-4 «Дон») по внешней полосе движения

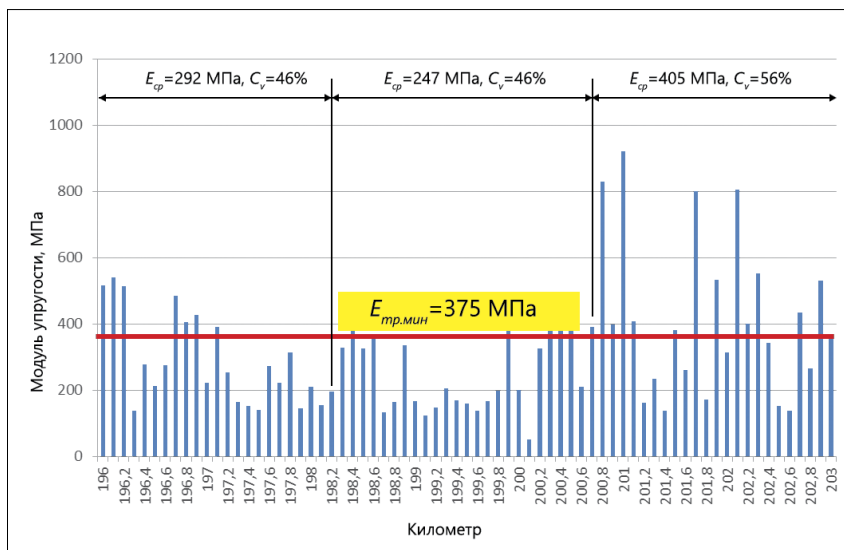


Рис. 6. Общий модуль упругости дорожной одежды на участке № 2 по внешней полосе движения (автомобильная дорога М-1 «Беларусь»)

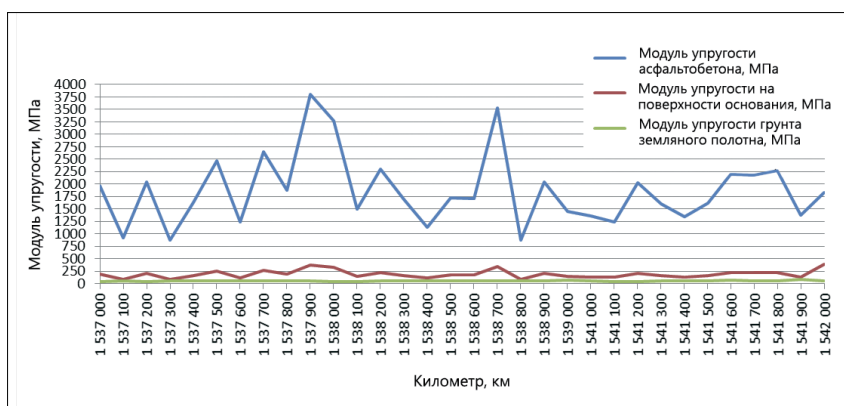


Рис. 7. Результаты определения модулей упругости слоёв нежесткой дорожной одежды на участке № 3 автомобильной дороги М-4 «Дон»



Рис. 8. Прицепной прибор ПКРС-2 РДТ после модернизации

Как уже отмечалось выше, ключевой особенностью и преимуществом установок ударного нагружения FWD является возможность определения модулей упругости слоёв нежестких дорожных одежд на стадии эксплуатации по зарегистрированной при ударном воздействии чаще прогиба

покрытия. Методика определения модулей упругости, как и программное обеспечение, используемое для данных целей, подробно описано в [3]. В данной статье приведём лишь результаты определения модулей упругости слоёв эксплуатируемой дорожной

одежды на участке № 3 автомобильной дороги М-4 «Дон» (рис. 7).

Эти данные являются актуальными в первую очередь для проектировщиков, так как позволяют им разрабатывать проекты ремонтных мероприятий, например расчёт слоёв усиления, опираясь на фактические данные о модулях упругости слоёв дорожной одежды, полученных в ходе диагностики.

Помимо установки FWD Primax 1500, с этого года в ООО «Автодор-Инжиниринг» применяется передвижная лаборатория с прибором ПКРС-2 РДТ (разработан совместно с ОАО «СНПЦ «Росдортех»), полностью модернизированным под требования межгосударственного стандарта ГОСТ 33078–2014 (рис. 8).

Сцепные качества дорожного покрытия представляют собой одну из важнейших характеристик автомобильной дороги. Основным показателем нормирования является показатель «коэффициент сцепления колеса с дорожным покрытием».

В мировой практике обеспечения безопасности автомобильных дорог в части нормирования и контроля параметров сцепления дорожных покрытий с колесом автомобилей применяется множество различных технологий и методик динамических измерений. Однако в любом случае предметом наблюдения является свойство дорожных покрытий сопротивляться скольжению (skid resistance) пневматических шин при торможении или маневрировании транспортных средств в процессе движения по автомобильной дороге. И поскольку суть этого свойства заключается в пропорциональности соотношения силы трения в пятне контакта и силы вертикальной нагрузки колеса на дорожное покрытие, целью измерения является достоверное определение коэффициента этого соотношения или собственно коэффициента сцепления.

Как известно, до недавнего времени измерение коэффициента сцепления на покрытиях автомобильных дорог общего пользования стран — членов СНГ регламентировалось требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 30413–96 «Дороги автомобильные. Метод определения коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием». Важно отметить ряд очевидных противоречий и недо-

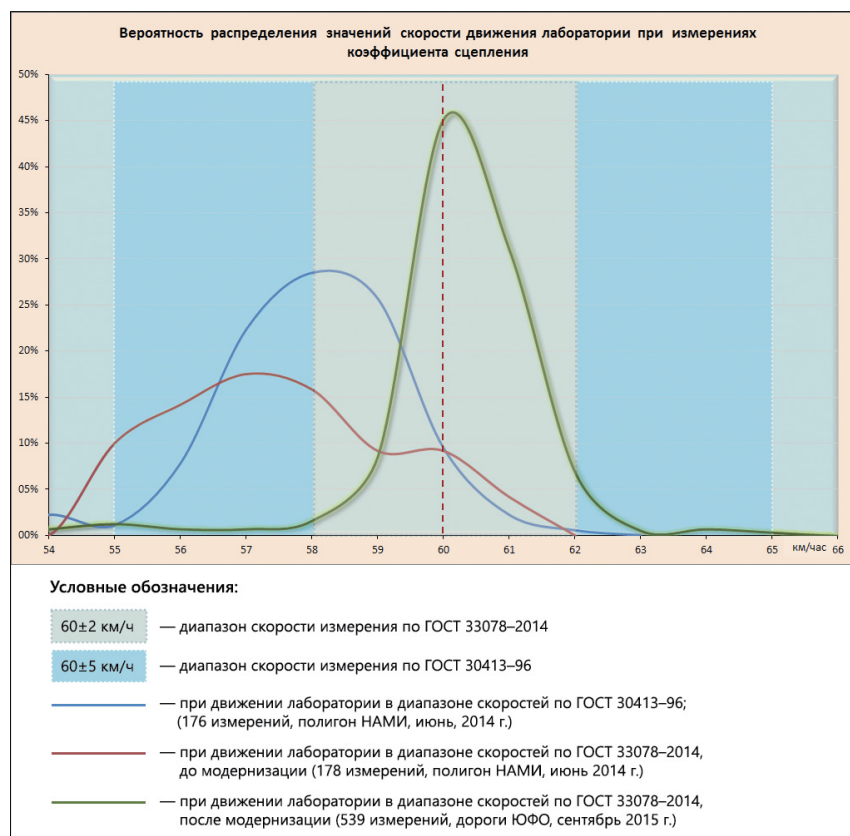


Рис. 9. Графики долевого распределения в выборке значений скорости движения лабораторий при реальных измерениях коэффициента сцепления

работок этого документа. Например, согласно п. 4.1.2 ГОСТ 30413–96 в качестве измерительного колеса допускалось использование стандартных пневматических шин типоразмеров 6,00–13; 6,15–13; 6,40–13 и 6,45–13 по ГОСТ 20993–75. В данном контексте

указанный типоразмер шин (6,00–13 и т.д.) относится исключительно к шинам диагональной конструкции, параметры и свойства которых определены требованиями ГОСТ 4754–97.

Далее, согласно п. 4.2.2 ГОСТ 30413–96 к испытаниям допускались новые

шины после предварительной обкатки не менее 300 км при скорости 60–80 км/ч или шины б/у с протектором глубиной не менее 1 мм. Стоит отметить, что ГОСТом 30413–96 не регламентировались ни типовой рисунок протектора шин, ни методы измерения глубины протектора, ни методы контроля обкатки новых шин. В результате к практическому использованию в качестве измерительного колеса допускались шины б/у диагональной конструкции с посадочным диаметром 13 дюймов и шириной протектора от 152 до 164 мм.

Не менее существенные противоречия ГОСТ 30413–96 касались принципов нормирования увлажнения дорожного покрытия (норма увлажнения $(1 \pm 0,2)$ л/м²) и скорости движения установки при измерениях (60±5 км/ч). Отметим, что отсутствие указаний на ограничение ширины полосы увлажнения и широкий диапазон скорости измерения влекли за собой негативные методические последствия в отношении точности (правильности и прецизионности) метода и результатов выполняемых измерений коэффициента сцепления.

Как известно, 5 декабря 2014 года решением Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации принят новый межгосударственный стандарт ГОСТ 33078–2014, разработанный в соответствии с Планом мероприятий по разработке и утверждению межгосударственных стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011). Этим стандартом впервые в нормативно-технической практике дорожного хозяйства стран — членов Таможенного союза предусмотрено использование специального измерительного колеса с гладким протектором, изменены принципы нормирования увлажнения дорожного покрытия и скорости движения лаборатории при проведении испытаний.

Однако практическое применение требований ГОСТ 33078–2014 сдерживалось конструктивными недоработками и несоответствиями новым требованиям имеющихся автомобильных установок в составе прицепного одноколесного прибора типа ПКРС-2У, си-

Таблица 7. Перечень параметров системы настройки и автоматического управления процессами измерения коэффициента сцепления

Элемент прицепа ПКРС	Параметр	Диапазон настройки
Датчик блокировки колеса	Шаг записи, м	0,5–10
Датчик температуры колеса	Мин./макс. темп, °С	–50...+80
Датчик температуры покрытия	Мин./макс. темп, °С	–50...+100
Датчик уровня воды в основном баке	Мин./макс. уровень	0–100%
Видеокамера слежения за ПКРС	—	Вкл./выкл.
Управление насосом	Задержка включения * Длительность цикла	0,00–5,00 с 0,00–10,00 с
Управление клапаном водополива	Задержка открытия ** Длительность цикла	0,00–2,00 с 0,00–10,00 с
Торможение измерительного колеса	Задержка начала *** Длительность цикла	0,00–3,00 с 0,00–10,00 с

* С момента включения кнопки СТАРТ.

** С момента включения насоса.

*** С момента открытия клапана водополива.

стемы увлажнения покрытия, а также системы управления и регистрации результатов измерений.

В 2015 году ООО «Автодор-Инжиниринг» совместно с Саратовским научно-производственным центром «Росдортех» реализовало инновационный проект комплексной модернизации передвижной дорожной лаборатории и одноколёсного прицепа ПКРС-2 РДТ для конструктивного обеспечения выполнения измерений коэффициента сцепления по ГОСТ 33078–2014.

Эффективность реализации заложенных в комплекс ПКРС-2 РДТ решений показана на графиках распределения вероятностей значения скоростей движения лабораторий при выполнении измерений коэффициента сцепления (рис. 9):

- по ГОСТ 30413–96 совместно со специалистами ФАУ «РосдорНИИ» на динамометрической дороге полигона НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» (стандартный комплекс);
- по ГОСТ 33078–2014 при обследовании автомобильных дорог Южного федерального округа (модернизированный комплекс).

Важно отметить, что в первом случае выборки составляли 176 и 178 измерений, при этом дорожной лабораторией управлял водитель с 12-летним стажем работы. Во втором случае выборка составляла 539 измерений, а водитель не имел практического опыта управления дорожной лабораторией при измерениях коэффициента сцепления.

Из данных на рисунке 9 следует, что при выполнении измерений на стандартных автомобилях без автоматических средств поддержания скорости в допустимом ГОСТ 33078–2014 интервале движения (60 ± 2 км/ч) даже опытный водитель с вероятностью 50% не сможет обеспечить достижение необходимого результата.

В то же время после реализации вышеуказанных технических решений нормативного результата удаётся достигнуть в 94% случаев, даже при управлении лабораторией неопытным водителем. При этом коэффициент вариации результатов составляет менее 3%, что подтверждает эффективность реализованных решений с точки зрения надёжности достижения целевых показателей разработки.

Не менее кардинальной модернизации подверглось и программное обеспечение измерительного комплекса. Так, впервые в практике выполнения измерений коэффициента сцепления создана система настройки и автоматического управления всеми значимыми процессами (рис. 10), исходя из реальных условий и требований ГОСТ 33078–2014. Перечень параметров и диапазоны их настройки представлены в таблице 7.

Пример протокола измерений коэффициента сцепления новым комплексом представлен в таблице 8.

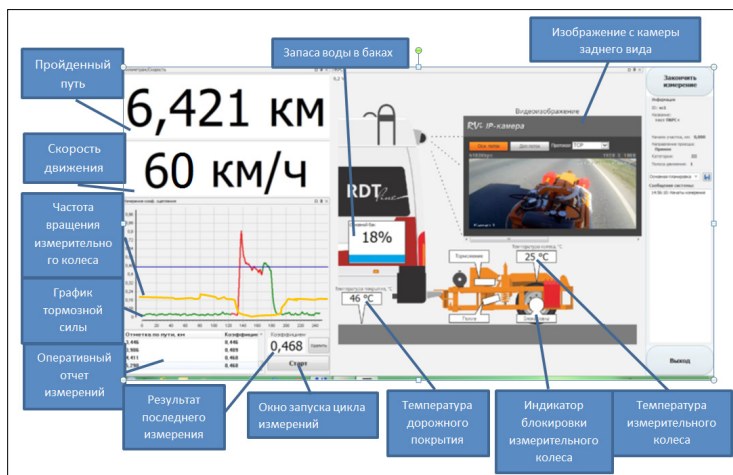


Рис. 10. Скриншот экрана бортового компьютера при выполнении измерений коэффициента сцепления

Важно отметить, что подобное представление результатов измерения коэффициента сцепления в сочетании с температурой покрытия и протектора измерительного колеса создаёт предпосылки для более точного прогнозирования сцепных свойств покрытий автомобильных дорог и назначения предельно допустимых значений при формировании нормативов технико-эксплуатационных показателей.

В сентябре 2015 года, используя предоставленное приказом Росстандарта право досрочного применения ГОСТ 33078–2014, специалисты ООО «Автодор-Инжиниринг» провели диагностику более 1500 км автомобильных дорог общего пользования, проходящих по территории Южного федерального округа.

Важно отметить, что в ходе реализации этого проекта совместными усилиями разнопрофильных специалистов производственной и инжиниринговой компаний было создано 8 объектов интеллектуальной собственности (ОИС), приоритет и права на которые защищены государственной регистрацией в Роспатенте (Федеральном институте промышленной собственности). В планах коммерциализация объектов интеллектуальной собственности через производство инновационной продукции.

В конце 2015 года разработан и утверждён Стандарт организации СТО 18104088–001–2015* «Измерительное колесо стандартное (ИКС) 6,45–13 (610x285). Требования к конструкции и производству. Методы испытаний», в соответствии с которым на одном из шинных заводов РФ созданы необходимые условия для производства этих изделий промышленными партиями.

Первая партия новых измерительных колёс стандартных (ИКС) 6,45–13 (610x285), предназначенных для установки на одноколёсные динамометрические прицепы типа ПКРС, используемые в составе передвижных дорожных лабораторий для измерения коэффициента сцепления дорож-

Таблица 8. Пример протокола измерений коэффициента сцепления

Идентификатор дороги: М-11 Москва — Санкт Петербург. Начало участка, км: 0,000. Конец участка, км: 7,608. Направление: Прямое. Номер полосы: 1. Дата измерений: 4.09.2015. Температура воздуха: 17 °С				
Отметка по пути, км	Коэффициент сцепления	Скорость, км/ч	Температура покрытия, °С	Температура колеса, °С
0,317	0,484	61	19,4	26,2
0,574	0,506	61	19,2	20
0,831	0,527	60	18,9	19,2
1,104	0,5	60	19	19,1
1,366	0,516	61	19	19,1
2,615	0,506	62	18,8	18,8
2,877	0,506	60	19,1	18,8
3,14	0,516	60	19,1	18,9
3,399	0,527	60	18,8	18,9
3,722	0,533	60	18,5	18,7
3,977	0,516	60	18,2	18,9
4,253	0,511	60	18,2	18,8
4,5	0,538	61	18,1	18,6
4,811	0,473	60	18,3	18,5
5,29	0,506	61	18,7	18,6
5,579	0,522	60	18,3	18,7
6,123	0,506	60	19	18,5
6,397	0,511	60	19,6	18,7
6,666	0,495	60	20,3	18,9
6,938	0,473	60	20	19,1
7,211	0,506	60	19,4	19,2
7,462	0,522	61	18,8	19,1

ного покрытия по ГОСТ 33078–2014, будет готова к отгрузке потребителям к началу марта 2016 года.

Основными факторами, негативно влияющими на сохранность автомобильных дорог Государственной компании, являются использование в зимнее время шипованных шин на всех группах автомобилей и перегрузка грузового автотранспорта. Использование шипованных шин в сочетании с высокой интенсивностью вызывает образование колеи износа с ухудшением до 5–10 мм ежегодно даже на полосах для легкового транспорта. Правые полосы дорог деформируются и разрушаются из-за перегрузки: из общего числа грузовых автомобилей порядка одной трети двигаются перегруженными. При этом допустимый вес транспортного средства у нас больше, чем, например, в США. Влияние этих факторов учитывается при оценке транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог

и прогнозировании их остаточного ресурса. Первые результаты оценки остаточного ресурса автомобильных дорог предполагается изложить в следующих публикациях.

Выводы

1. Оценка соответствия автомобильных дорог требованиям технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) должна осуществляться на всех этапах их жизненного цикла, в том числе при оценке их технического состояния на основе соответствующих межгосударственных стандартов.

2. Планирование различных видов дорожных работ на основе остаточного ресурса на текущем этапе эксплуатации позволит оценивать эффективность вариантов назначенных мероприятий по продлению срока службы дорожных конструкций.

3. Для ежегодной оценки технического состояния автомобильных дорог

необходимо выполнять измерения сцепных свойств дорожного покрытия, продольной ровности дорожного покрытия и регистрацию дефектов дорожного покрытия. На основе полученных данных о деградации продольной ровности и выявленных дефектах покрытия назначаются участки для оценки прочности и модулей упругости слоёв эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установок ударного нагружения типа FWD.

4. Необходимо переработать ОДН 218.0.006–2002, приведя его положения в соответствие требованиями Технического регламента «Безопасность автомобильных дорог» в части методов оценки технико-эксплуатационных характеристик дороги, методики оценки транспортно-эксплуатационного состояния дороги (отказавшись от определения ряда частных коэффициентов обеспеченности расчётной скорости), а также переработать раздел планирования ремонтных работ, введя понятия гарантийных сроков, назначения работ по фактическому состоянию участка и оценке остаточного ресурса, выделить планирование ремонтов покрытия транспортных развязок, помимо критериев соответствия характеристик нормативным значениям ввести понятие однородности (коэффициента вариации) ровности, сцепления, прочности для характерного участка, предусмотреть как отдельный вид работ при диагностике мониторинг объекта во времени для динамики состояния автомобильной дороги.

5. Для применения установок ударного нагружения FWD в рамках отечественной нормативной базы специалистами ООО «Автодор-Инжиниринг» и Ростовского государственного строительного университета разработана «Инструкция по корректировке результатов оценки модулей упругости слоёв нежестких дорожных конструкций, полученных с использованием установки ударного нагружения (FWD) и приведение их к нормативной базе проектирования автомобильных дорог Российской Федерации», позволяющая осуществлять приведение значений динамического общего модуля упругости дорожной одежды, регистрируемого при времени контактного взаимодействия между покрытием дорожной одежды и грузом установки 30 мс, к проектным значениям общего

модуля упругости (для расчётного времени воздействия в соответствии с ОДН 218.046–01).

6. Установки ударного нагружения FWD позволяют осуществлять диагностику прочности нежестких дорожных одежд на протяжённых участках автомобильных дорог и определять локальные участки снижения прочности дорожной одежды, ниже заданного на стадии проекта значения минимально требуемого общего модуля упругости, что делает эту информацию крайне ценной как для проектных организаций, так и для организаций, занимающихся содержанием автомобильных дорог.

7. Наряду с возможностью анализа общего модуля упругости дорожной одежды на стадии эксплуатации возникает также и возможность оценки однородности данного показателя. Так, например, коэффициент вариации общего модуля упругости дорожной одежды на относительно новом (находящемся в эксплуатации 3 года) участке автомобильной дороги № 1 изменяется в диапазоне 10–18%, в то время как коэффициент вариации прочности дорожной одежды на участках автомобильных дорог, находящихся в эксплуатации 5–10 лет и свыше 10 лет, может достигать значений 26–56%, что свидетельствует о значительной неоднородности дорожной одежды, что необходимо учитывать при планировании ремонтных мероприятий.

8. Применение в ходе диагностики состояния автомобильных дорог передвижной лаборатории нового типа с модернизированным прицепом ПКРС позволяет Государственной компании «Автодор», эксплуатирующим организациям и организациям, осуществляющим работы по диагностике автомобильных дорог, реализовать право досрочного применения требований межгосударственного стандарта ГОСТ 33078–2014 для принятия адекватных управленческих решений в целях внедрения Технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) [6] и повышения эффективности управления объектами дорожно-транспортной инфраструктуры [7].

Литература:

1. Федеральные дороги России. Транспортно-эксплуатационные качества и безопасность дорожного движения / М.Л. Ермаков [и др.] // М.: Федеральное дорожное агентство. Статистический аналитический сборник, 2008. 125 с.
2. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника. Т. II. / А.П. Васильев (ред.) [и др.]. М., 2004.
3. СТО АВТОДОР 10.1–2013. Определение модулей упругости слоёв эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения. М., 2013.
4. Горский М.Ю. Основные положения новых межгосударственных стандартов на измерение параметров покрытия // Техническое регулирование в дорожном хозяйстве. Методическое пособие. М., 2014.
5. Живописцев И.Ф. Основные положения межгосударственного стандарта ГОСТ «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию» // Техническое регулирование в дорожном хозяйстве. Методическое пособие. М., 2014.
6. ТС 014/2011. Безопасность автомобильных дорог. Технический регламент Таможенного союза.
7. Совершенствование структуры отраслевой диагностики автомобильных дорог / С.П. Аржанухина [и др.] // Интернет-журнал «Наукоедение». 2012. № 4(13). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/44tvn412.pdf>.