

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»

УТВЕРЖДАЮ

Профессор по научной и инновационной  
деятельности

Т.М. Давыденко

«\_\_\_\_\_ 2021 г.



ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Мониторинг опытного участка покрытия автомобильной дороги «Крым-  
Ясные Зори – Архангельское» на участке км 0+000м – КМ13 +800м. и оценка  
влияния модификатора Унирем-002 на транспортно – эксплуатационное  
состояние»

Договор на выполнение НИР № /2021 от 2021 года

Научный руководитель работ,  
доцент, к.т.н.

Е.А. Яковлев

Белгород 2021

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель работ,  
доцент, к.т.н.



подпись

Е.А. Яковлев

Исполнители:

доцент,  
кандидат техн. наук



подпись

А.Е. Акимов

доцент,  
канд. техн. наук



подпись

В.А. Гричаников

заведующий лабораторией



подпись

В.П. Денисов

## **Реферат**

Ключевые слова: автомобильная дорога, транспортно-эксплуатационное состояние, методика IRI, продольная ровность, микропрофиль, поперечная ровность, колейность, картограмма дефектов, ведомость дефектов, несущая способность дорожной одежды, модуль упругости, коэффициент сцепления колеса с покрытием, ДИНА-4, ПКРС-3 «Метрика».

Объект исследования – асфальтобетонное покрытие автомобильной дороги четвертой технической категории «Крым» - Ясные Зори – Архангельское (от М-2 «Крым» до с. Ясные Зори) общей протяжённостью 13,8 км .

Целью оценки участков автомобильной дороги является получение полной, объективной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии, условия их работы и степени соответствия фактических потребительских свойств, параметров и характеристик требованиям движения, а также на соответствие нормативно-технической документации. Сравнительный анализ полученных характеристик дорожного покрытия с модификатором «Унирем-002» и с использованием в качестве вяжущего ПБВ-60. Отслеживание изменений транспортно-эксплуатационных характеристик во времени.

В результате выполнения научно-исследовательской работы исследовано транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги «Крым» - Ясные Зори – Архангельское на участке от М-2 «Крым» до с. Ясные Зори, измерена продольная и поперечная ровность, построена картограмма расположения дефектов покрытия, выполнено измерение несущей способности конструкции дорожной одежды и коэффициент сцепления колеса с покрытием.

Работы выполнялись Комплексом измерительным передвижной дорожной лаборатории ТРАССА. 123456789ABC рег. №65062-16 (свидетельство о поверке №С-ВУ/01-07-2021/74643845 действительно до

30.06.2022).

Обработка результатов полевых обследований и формирование технических отчетов по диагностике выполнялась при помощи программно-измерительного комплекса «Дорога-ПРО».

## **1 Термины и определения**

В настоящем отчете применены следующие термины с соответствующими определениями:

**1. продольная ровность проезжей части:** Качественная характеристика состояния поверхности дорожного покрытия по геометрическим параметрам, способным оказывать влияние на колебания движущегося транспортного средства.

**2. полоса движения:** Продольная полоса проезжей части, по которой происходит движение транспортных средств в один ряд.

**3. полоса наката (колея):** Продольная полоса на поверхности проезжей части дороги, соответствующая траектории движения колес транспортных средств, следующих по данной полосе движения.

Различают правую и левую полосы наката, соответствующие траектории движения правых или левых колес транспортных средств.

**4. микропрофиль проезжей части:** Продольное сечение поверхности автомобильной дороги в виде массива ординат (вертикальных отметок), содержащего неровности, оказывающие влияние на вертикальные колебания автомобиля.

**5. высокоскоростной профилометр:** Передвижная измерительная установка, позволяющая при проезде по дороге со скоростями транспортного потока определять ординаты микропрофиля дорожной поверхности с требуемой точностью. Определяется расчетом в результате моделирования движения по микропрофилю % части эталонного автомобиля со скоростью 80 км/ч.

**6. международный показатель ровности (International Roughness Index); IRI, мм/м:** Отношение величины суммарного перемещения неподпрессоренной массы (колеса) относительно подпрессоренной (кузова автомобиля) к длине участка дороги.

**7. коэффициент сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием (далее - коэффициент сцепления):** Показатель, характеризующий сцепные свойства дорожного покрытия, определяющийся как отношение максимального касательного усилия, действующего вдоль дорожного покрытия на площади контакта испытательной установки с дорожным покрытием к нормальной реакции в площади контакта испытательной установки с дорожным покрытием.

**8. полоса наката:** Продольная полоса на поверхности проезжей части автомобильной дороги, соответствующая траектории движения колес большей части транспортных средств, движущихся по полосе движения.

**9. измерительный участок:** Участок автомобильной дороги, на котором производится измерение сцепных свойств дорожного покрытия в режиме скольжения заблокированного колеса, отсчитываемый от начала скольжения блокированного колеса до момента его разблокирования.

**10. дорожное покрытие:** Верхняя часть дорожной одежды, устраиваемая на дорожном основании, непосредственно воспринимающая нагрузки от транспортных средств и предназначенная для обеспечения заданных эксплуатационных требований и защиты дорожного основания от воздействия погодно-климатических факторов.

**11. нагрузочная плита (жесткий штамп):** Устройство, имеющее форму круга, состоящее из двух и более сегментов, равномерно передающее нагрузку на дорожное покрытие от воздействия внешних сил и при этом не изменяющее своих геометрических размеров.

**12. нежесткая дорожная одежда:** Многослойная конструкция, состоящая из слоев дорожного покрытия, содержащего органические вяжущие или выполненного из неукрепленных либо укрепленных вяжущими минеральных зернистых материалов и слоев основания (одного или нескольких), воспринимающая воздействие транспортных средств и природно-климатических факторов, обеспечивающая снижение возникающих усилий при передаче их на грунт земляного полотна.

**13. измеритель нагрузки:** Устройство, способное измерять нагрузку, которая прикладывается на дорожное покрытие перпендикулярно к плоскости основания нагрузочной плиты.

**14. измеритель прогиба:** Устройство, способное измерять значение вертикального перемещения поверхности дорожного покрытия нежесткой дорожной одежды от первоначального положения и смонтированное таким образом, чтобы минимизировать угловое вращение относительно своей измерительной плоскости при прогнозируемом перемещении.

**15. упругий прогиб нежесткой дорожной одежды (упругий прогиб):** Величина обратимого вертикального перемещения поверхности дорожного покрытия нежестких дорожных одежд от исходного положения под воздействием нагрузки.

**16. чаша прогиба:** Идеализированная чашеобразная форма деформированной под воздействием заданной нагрузки поверхности дорожного покрытия, характеризуемая физической величиной пиковых измерений ряда измерителей прогиба, расположенных с радиальным смещением от центра нагрузочной плиты.

**17. колейность:** Плавное искажение поперечного профиля автомобильной дороги, локализованное вдоль полос наката

## **2. Методика проведения измерений**

### **2.1. Измерение продольной ровности.**

Измерения выполняются согласно ГОСТ 33101-2014.

Состояние дорожного покрытия на участке проведения измерений должно обеспечивать возможность движения дорожной лаборатории с рабочей скоростью  $60\pm2$  км/ч.

Поверхность дорожного покрытия должна быть сухой, очищенной от грязи и посторонних предметов. Минимальная длина измеряемого участка составляет не менее 100 м без учета расстояния, необходимого для разгона и торможения дорожной лаборатории, оснащенной профилометром.

Для обеспечения безопасности и информирования других участников дорожного движения о проведении измерительных работ на дороге профилометр оборудован специальными знаками и сигнальными устройствами: надписью «Дорожная лаборатория» и проблесковым маячками желтого цвета.

Измерения профиля производятся при помощи лазерных профилометров, расположенных в базе автомобиля – лаборатории в левой и правой полосе наката.

Инерциальная система навигации и система компенсации перемещения кузова позволяют исключить

В случае, если измерение микропрофиля на участке дороги невозможно без создания помех для движения транспортного потока, принимаются необходимые меры безопасности по обеспечению беспрепятственного проезда профилометра с рабочей скоростью.

### **2.2. Измерение поперечной ровности и дефектов покрытия.**

Измерения производятся согласно ГОСТ 32825-2014.

Фиксация поперечной ровности проезжей части производится с применением скоростных 2D профилометров, регистрирующих профиль покрытия через каждые 10 м.

Регистрация колейности производится непрерывно при движении автомобиля лаборатории при скорости  $60\pm2$  км/ч. Участки просадок и проломов дорожной одежды исключаются из измерения колейности.

Фиксация дефектов покрытия производится при помощи скоростной видеокамеры, направленной на покрытие. Покадровая съемка покрытия выполняется с привязкой кадров к пройденному расстоянию.

После проезда передвижной лаборатории производится фиксация дефектов в полуавтоматическом режиме с определением линейных размеров повреждений и их классификации по видам.

### **2.3. Измерение несущей способности дорожной одежды.**

Измерения производятся согласно ГОСТ 32729-2014.

При выполнении измерений применяют следующее оборудование:

- установка испытательная динамического нагружения падающим грузом (Дина-4 в составе передвижной дорожной лаборатории КП-514 СМП), создающая требуемую нагрузку на дорожное покрытие с точностью до 0,1 кН, и включающая:

1) нагрузочную плиту (жесткий штамп), выполненную из металла, диаметром не менее 300 мм. Нагрузочная плита должна обеспечивать плотное прилегание к дорожному покрытию;

2) измеритель нагрузки, фиксирующий прилагаемую нагрузку с погрешностью не более 0,1 кН;

3) измерители прогиба с погрешностью не более 0,01 мм в количестве не менее 7 шт. Первый измеритель прогиба располагают в центре нагрузочной плиты, таким образом, чтобы вертикальное перемещение нагрузочной плиты в момент приложения нагрузки не оказывало влияние на измерение прогиба.

Остальные измерители прогиба монтируют на балке. Расстояние между смежными измерителями прогиба должно составлять  $(300\pm5)$  мм.

При методе динамического нагружения падающим грузом значение упругого прогиба нежесткой дорожной одежды на измерителях прогиба и параметры чаши прогиба определяют от действия заданной, динамической (кратковременной) нагрузки, передаваемой на дорожное покрытие через нагрузочную плиту (жесткий штамп).

Измерения производятся на полосе прямого направления с расположением нагрузочного штампа в полосе наката минимум в 2 точках на каждом километре дороги. В случае изменения конструкции дорожной одежды или земляного полотна назначаются дополнительные точки.

#### **2.4. Измерение коэффициента сцепления колеса с покрытием.**

Измерения производятся согласно ГОСТ 33078-2014.

Измерительная установка ПКРС-3 «Метрика» в составе передвижной дорожной лаборатории КП-514 СМП включающая:

а) прибор контроля коэффициента сцепления дорожных покрытий типа ПКРС, обеспечивающий нормальную вертикальную нагрузку измерительного колеса на дорожное покрытие равную  $(3,00\pm0,10)$  кН, включающий:

1) устройство измерения температуры воздуха с погрешностью измерения не более  $1^{\circ}\text{C}$  в диапазоне от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $45^{\circ}\text{C}$ ;

2) измерительное колесо стандартное пневматическое колесо с гладким протектором;

3) автоматическую систему торможения, обеспечивающую полную блокировку ИКС через интервал от 0,5 до 1,0 с после подачи воды на дорожное покрытие, и обеспечивающую продолжительность блокировки колеса от 1,0 до 4,0 с;

4) динамометр для измерения силы сцепления на границе "шина - дорожное покрытие" с погрешностью не более 1% от измеряемого значения,

обеспечивающий измерение силы сцепления с момента блокировки колеса с шагом не более 0,2 с в интервале времени не менее чем 3,0 с;

5) автоматическую систему увлажнения поверхности дорожного покрытия. Расход воды, равномерно подаваемой на покрытие должен быть равен  $(2,75 \pm 0,1)$  л/с. Ширина смачиваемой поверхности дорожного покрытия должна быть как минимум на 50 мм шире, чем ширина протектора колеса.

6) систему управления и регистрации;

б) транспортное средство, способное развивать и поддерживать скорость, равную  $(60 \pm 2)$  км/ч;

- вода, подаваемая с использованием централизованной или нецентрализованной системы водоснабжения, с отсутствием сплошной пленки нефтепродуктов, жиров, масел на поверхности.

Сцепление колеса автомобиля с покрытием характеризуется значением показателя коэффициента сцепления, определяемого при полной блокировке колеса на предварительно смоченной поверхности покрытия автомобильной дороги при стандартных условиях, с последующим вычислением отношения полученного значения касательного усилия к значению нормальной реакции дорожного покрытия.

При проведении измерений на каждом измерительном участке необходимо выполнить следующие операции:

- а) определить температуру окружающего воздуха и дорожного покрытия;
- б) обеспечить скорость испытательной установки, равную  $(60 \pm 2)$  км/ч на протяжении всего интервала измерения;
- в) включить подачу воды на дорожное покрытие перед ИКС;
- г) обеспечить блокировку ИКС;
- д) провести серию измерений силы сцепления с момента блокировки ИКС с шагом не менее 0,2 с в интервале времени не менее чем 3,0 с;
- е) отключить блокировку ИКС и подачу воды.

На автомобильных дорогах, находящихся в эксплуатации, измерения следует проводить при движении ИКС по полосе наката левых колес транспортных средств, использующих данную полосу движения.

Участки автомобильной дороги длиной более 1 км необходимо разбить на несколько участков длиной до 1 км. На участке автомобильной дороги длиной не более 1 км следует последовательно выполнить измерения коэффициента сцепления не менее чем на трех измерительных участках. Минимальная длина участка автомобильной дороги, на котором возможно применение прибора типа ПКРС из условий безопасности с учетом разгона и полной остановки должна составлять 300 м.

### **3. Цель и задачи исследования**

Целью оценки участков автомобильной дороги является получение полной, объективной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии, условия их работы и степени соответствия фактических потребительских свойств, параметров и характеристик требованиям движения, а также на соответствие нормативно-технической документации. В процессе исследований проводится сравнительный анализ полученных характеристик дорожного покрытия с модификатором «Унирем-002» и с использованием в качестве вяжущего ПБВ-60. Ведется мониторинг изменений транспортно-эксплуатационных характеристик во времени.

### **4. Результаты измерений**

#### **4.1. Результаты измерения коэффициента сцепления**

Результаты измерения коэффициента сцепления на контрольном участке автомобильной дороги (асфальтобетонная смесь на ПБВ-60) и на исследуемом участке (асфальтобетонная смесь на вяжущем, модифицированном УНИРЕМ) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициент сцепления колеса с дорогой

Местоположение, м	Коэффициент сцепления (прямое направление)	Коэффициент сцепления (обратное направление)
<b>Участок ПБВ-60 (контрольный)</b>		
0.166	0.498	0.523
0.440	0.518	0.477
0.707	0.513	0.550
1.253	0.512	0.557
1.258	0.548	0.569
1.535	0.536	0.451
1.798	0.552	0.416
2.801	0.592	0.558
2.803	0.592	0.545

3.178	0.530	0.535
3.519	0.506	0.550
3.991	0.402	-
4.344	0.421	-
4.887	0.494	-
5.543	0.482	-
6.071	0.365	-
6.651	0.471	-
<b>Участок УНИРЕМ (исследуемый)</b>		
0.131	0.479	0.547
0.701	0.499	0.504
1.157	0.561	0.541
1.567	0.512	0.475
2.402	0.469	0.520
2.801	0.539	0.494
3.237	0.517	0.493
3.908	0.563	0.481
4.521	0.541	0.507
5.546	-	0.485

Средний коэффициент сцепления на контрольном участке составил: 0,53 в прямом направлении и 0,49 в обратном направлении. На исследуемом участке средний коэффициент сцепления составил: 0,52 в прямом направлении и 0,50 в обратном направлении.

#### **4.2. Результаты измерения продольной ровности.**

Результаты измерения продольной ровности по показателю IRI приведены в таблице 2.

Таблица 2. Ровность покрытия по международному показателю IRI

Наименование участка	Средняя ровность, см/км	
	Прямое направление	Обратное направление
Контрольный участок (ПБВ)	1949	2124
Исследуемый участок (УНИРЕМ)	1727	1929

#### **4.3. Результаты измерения поперечной ровности (колейности).**

Средняя величина колейности на контрольном и исследуемом участке приведена в таблице 3.

Таблица 3. Поперечная ровность покрытия

Наименование участка	Средняя глубина колеи, мм	
	Прямое направление	Обратное направление
Контрольный участок (ПБВ)	8,10	9,66
Исследуемый участок (УНИРЕМ)	4,66	7,11

#### **4.4. Результаты определения несущей способности дорожной одежды методом динамического нагружения.**

Для определения несущей способности использовалась установка динамического нагружения Дина-4. Определение модуля упругости на поверхности производилось под нагрузкой 3 кН, что соответствует максимально допустимой осевой нагрузке 6 т. Результаты измерений приведены в таблице 4.

Таблица 4. Модуль упругости на поверхности покрытия.

Наименование участка, положение, км	Модуль упругости, МПа		
	Динамический	Динамический при 10 С	Статический
Контрольный участок (ПБВ-60)			
Км 0	468,7	528,1	286,7
Км 1	513,9	575,0	312,1
Км 2	573,2	643,8	349,5
Км 3	315,7	355,6	193,0
Км 4	318,7	359,6	195,2
Км 5	249,1	280,0	152,0
Км 6	349,2	392,1	212,9
Км 7	516,7	583,9	317,0
Исследуемый участок (УНИРЕМ)			

Км 0	336,3	370,3	201,0
Км 1	426,6	482,7	262,0
Км 2	466,8	526,0	285,6
Км 3	284	321,2	174,4
Км 4	239,9	271,4	147,3
Км 5	261,8	292,3	158,7
Км 6	268,3	303,1	164,5
Км 7	219,3	248	134,6

#### **4.4. Результаты видеофиксации дефектов покрытия проезжей части.**

Для фиксации дефектов покрытия применяется скоростная камера дефектовки с привязкой кадров к пройденному расстоянию. После обработки полученного видеоряда в полуавтоматическом режиме формируется дефекта ведомость и картограмма распределения дефектов по полосам. Классификация дефектов и оценка состояния покрытия производится согласно ГОСТ 32825-2014.

Результаты балльной оценки приведены в таблице 5.

Наименование участка, состояние	Протяженность участка % от общей длины с состоянием
Контрольный участок (ПБВ)	
Нормативное	0
Допустимое	2,2
Недопустимое	97,8
Исследуемый участок (УНИРЕМ)	
Нормативное	30,3
Допустимое	33,7
Недопустимое	36,0

## **5. Анализ полученных результатов**

В результате анализа полученных данных показателя сцепления было установлено, что участок с применением модификатора «Унирем-002» имеет показатели равные показателям сцепления на контрольном участке с применением ПБВ. На полосе прямого направления коэффициент сцепления на 0,01 больше на контрольном участке, а на полосе обратного направления движения коэффициент сцепления выше на участке с модификатором «Унирем-002». Оба участка по показателю коэффициента сцепления соответствуют требованиям к эксплуатационному состоянию покрытия допустимому по условиям безопасности дорожного движения. Показатель сцепления зависит от качества применяемых каменных материалов, а также и качества применяемого вяжущего. Форма и размерность щебня влияют на исходные показатели сцепления, а природа каменного материала и качество вяжущего на истираемость слоя асфальтобетона в процессе эксплуатации.

Сумма высоты всех неровностей покрытия на контрольном участке (с ПБВ) на 10% больше, чем на исследуемом участке (с Унирем-002). Данный факт может быть обусловлен меньшей деформативностью и большей жесткостью асфальтобетона с модификатором, а также большей теплостойкостью, в результате чего деформации покрытия с таким материалом накапливаются меньше, особенно в летний период.

Средние значения колеи на исследуемых загородных участках имеют значительные различия. На участке с использованием композитного модификатора «Унирем-002» колейность меньше, чем на участке применением ПБВ-60 на 19% на полосе прямого направления и на 53% на полосе обратного направления. Данные различия обусловлены вероятнее всего более высокой температурой размягчения и большей когезионной прочностью и эластичностью вяжущего с модификатором «Унирем-002», что приводит к лучшей сдвигостойчивости и меньшему накоплению пластических деформаций в летний период и меньшему образованию абразивной колеи

износа в зимний период эксплуатации.

Значительной количества дефектов на контрольном участке с применением в качестве вяжущего ПБВ-60, среди которых наблюдается большое количество поперечных трещин и сетки трещин, свидетельствует о меньшей стойкости материала к усталостному разрушению. Контрольный участок по состоянию покрытия полностью не соответствует эксплуатационным требованиям по количеству и распределению дефектов, при этом на исследуемом участке с применением модификатора «Унирем-002» только 36% покрытия находится в недопустимом состоянии, остальная часть покрытия находится в нормативном или допустимом состоянии.