

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ,
МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Научная статья

УДК 625.7

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2024-4/139-150>**Метод оценки состояния автомобильных дорог****Сергей Васильевич Ключев^{1,2}, Надежда Анатольевна Слободчикова^{3,✉}**¹ Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,
Белгород, Российская Федерация² Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация³ Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Российская Федерация

✉ nslobodchikova@rambler.ru

Аннотация. Для определения необходимости проведения ремонтных мероприятий, видов ремонтных мероприятий и их очередности на сети автомобильных дорог необходимо оценить их текущее состояние. Различными исследованиями предлагаются укрупненные критерии оценки состояния автомобильной дороги, в основном базирующиеся на продольной ровности и наличии разрушений покрытия: индекс состояния покрытия PCI, индекс состояния поверхности SCI, общий индекс состояния покрытия городских улиц и дорог OPCI, индекс состояния поверхности дорожного покрытия PSCI и др. В РФ состояние автомобильных дорог оценивается путем определения значений продольной ровности, коэффициента сцепления, состояния покрытия и модуля упругости. При этом определение модуля упругости для автомобильных дорог регионального и местного значения в рамках ежегодной диагностики в условиях ограниченного финансирования является малоэффективным и нецелесообразным. Авторами введен комплексный показатель уровня эксплуатационного обслуживания, основанный на значениях коэффициента сцепления, продольной ровности и состояния покрытия. Применение этого показателя позволит повысить эффективность планирования ремонтных мероприятий на сети автомобильных дорог. Предлагается метод оценки состояния автомобильных дорог, состоящий из двух этапов. На первом этапе определяется уровень эксплуатационного обслуживания и выявляются локальные участки, имеющие значительные деформации и разрушения. На втором этапе определяются причины развития значительных деформаций и разрушений путем проведения геологических, гидрометрических и геодезических исследований. Такой подход позволит в условиях ограниченного финансирования снизить расходы на проведение ежегодной диагностики автомобильных дорог без снижения ее эффективности.

Ключевые слова: диагностика автомобильных дорог, состояние автомобильных дорог**Для цитирования:** Ключев С.В., Слободчикова Н.А. Метод оценки состояния автомобильных дорог // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2024. № 4(61). С. 139–150.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRFIELDS, BRIDGES AND TRANSPORT TUNNELS

Original article

The method of assessing the condition of roads**Sergey V. Klyuev¹, Nadezhda A. Slobodchikova^{2,✉}**¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation² RUDN University, Moscow, Russian Federation³ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

✉ nslobodchikova@rambler.ru

Abstract. To determine the need for repair measures, types of repair measures and their priority on the highway network, it is necessary to assess their current condition. Various studies have proposed enlarged criteria for

© Ключев С.В., Слободчикова Н.А., 2024

assessing the condition of the highway, mainly based on longitudinal flatness and the presence of pavement damage: PCI coating condition index, SCI surface condition index, OPCI general index of the condition of urban streets and roads, PSCI surface condition index, etc. In the Russian Federation, the condition of highways is assessed by determining the values of longitudinal evenness, coefficient of adhesion, coating condition and modulus of elasticity. At the same time, determining the modulus of elasticity for highways of regional and local significance within the framework of annual diagnostics in conditions of limited funding is ineffective and impractical. The authors introduced a comprehensive indicator of the level of maintenance, based on the values of the coefficient of adhesion, longitudinal evenness and the condition of the coating. The use of this indicator will improve the efficiency of planning repair activities on the highway network. A method for assessing the condition of highways consisting of two stages is proposed. At the first stage, the level of operational maintenance is determined and local areas with significant deformations and failures are identified. At the second stage, the causes of the development of significant deformations and destructions are determined by conducting geological, hydrometric and geodetic studies. This approach will allow in conditions of limited funding, reduce the cost of annual road diagnostics without reducing its effectiveness.

Keywords: diagnostics of roads, state of roads

For citation: Klyuev S.V., Slobodchikova N.A. The method of assessing the condition of roads. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2024, no. 4(61), pp. 139–150. (In Russ.).

Введение

Для эффективного управления состоянием автомобильных дорог необходима регулярная оценка этого состояния, что позволяет определять необходимость проведения ремонтных мероприятий, виды ремонтных мероприятий и их очередность.

Вопросам оценки состояния автомобильных дорог и поддержания их в нормативном состоянии посвящены работы многих авторов [1–11]. Основными показателями состояния являются продольная и поперечная ровность, коэффициент сцепления, скорость движения транспортного потока [5], модуль упругости дорожной одежды, коэффициент прочности, повреждения покрытия (выбоины, просадки, проломы, трещины и др.).

Различными исследованиями предлагаются укрупненные критерии оценки состояния автомобильной дороги, большинство из которых относится к оценке состояния дорожной одежды:

- Продольная ровность, характеризуемая международным индексом ровности IRI [6–7].
- Индекс транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги (ASTM E1926–08).
- Индекс состояния покрытия PCI (Pavement Condition Index) – это числовой показатель от 0 до 100, который оценивает состояние поверхности дорожного покрытия на основе повреждений, наблюдаемых на поверхности дорожного покрытия, что также указывает на целостность конструкции и эксплуатационное состояние поверхности (ASTM D 6433–11).
- Индекс состояния поверхности SCI [12]. SCI участка определяется его ровностью, а также степенью растрескивания, выкрашиванием заполнителя и наличием выбоин покрытия.
- Общий индекс состояния покрытия городских улиц и дорог OPCI [13]. OPCI представляет собой обобщенный показатель, включающий оценку ровности, аварийности, состояния конструкций и шероховатость покрытия.
- Индекс состояния поверхности дорожного покрытия (PSCI) [14]. PSCI основан исключительно на визуальной оценке повреждений дорожного покрытия.
- Индекс работоспособности PSI – 5-балльный показатель, отражающий оценку сетки трещин, глубины колеи и продольной ровности.
- Показатель PQI. Характеризует общее состояние дорожного покрытия и включает в себя показатель ровности и количество дорожно-транспортных происшествий.

Также различными авторами выполнены исследования в области определения зависимостей между различными показателями, например между IRI и PCI [15–20].

На территории Российской Федерации оценка состояния автомобильных дорог регламентируется:

- ОДМ 218.4.039–2018 «Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог».
- ГОСТ Р 50597-2017 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля».

Оценка состояния автомобильных дорог в Российской Федерации базируется на таких показателях, как коэффициент сцепления, продольная ровность, состояние покрытия и модуль упругости.

При этом определение общего модуля упругости для сети автомобильных дорог регионального и местного значения в рамках ежегодной диагностики в условиях ограниченного финансирования является малоэффективным и нецелесообразным, т.к.:

1. В условиях континентального и полярного климата период, в течение которого в соответствии с нормативными требованиями возможно производить измерения модуля упругости, может составлять менее 4–5 месяцев.

2. Измерение модуля упругости должно проводиться на покрытии, не имеющем повреждений, локальных деформаций и колеяности более 10 мм, что приводит к необъективной оценке прочности дорожной одежды в целом.

3. Анализ многолетнего опыта определения модуля упругости позволяет сделать вывод, что на одном и том же участке автомобильной дороги значение модуля упругости значительно варьируется в зависимости от времени года и погодных условий.

4. Определение значения модуля упругости сопряжено со значительными финансовыми затратами.

В условиях ограниченности региональных бюджетов ежегодная диагностика одних и тех же участков автомобильных дорог фактически проводится 1 раз в несколько лет. В связи с чем оценка состояния автомобильных дорог в условиях ограниченного финансирования должна производиться по потребительским свойствам и позволять принимать эффективные решения по определению стратегии ремонтных мероприятий в течение срока службы.

Учитывая изложенное выше, в работе поставлена цель – разработка ускоренного метода оценки состояния автомобильных дорог регионального и местного значения.

Материалы и методы

Предлагается использовать метод оценки состояния автомобильных дорог, состоящий из двух этапов.

Этап 1. Оценка состояния по потребительским свойствам: ровность, сцепление, состояние покрытия. При этом определяется общий уровень эксплуатационного состояния автомобильной дороги/участка (УЭС) по 5-балльной шкале по показателям, указанным в табл. 1, и выявляются участки, имеющие значительную степень разрушения и деформаций.

Для оценки уровня эксплуатационного состояния автомобильной дороги/участка в баллах предлагается использовать значения показателей, указанные в табл. 2–5. Определение количества баллов в зависимости от значений ровности и коэффициента сцепления осуществлено пропорционально значениям, изложенным в ОДМ 218.4.039–2018. При проведении дальнейших исследований необходима более точная балльная оценка по результатам статической обработки данных и определения значимости каждого показателя в УЭС.

Балльная оценка состояния дороги по обнаруженным дефектам производится в соответствии с формулой ОДМ 218.4.039:

$$B_j = \frac{J_1 l_1 + J_2 l_2 + \dots + J_n l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}, \quad (1)$$

где J_i и l_i – соответствующие баллы и протяженность i -х участков каждой полосы с практически одинаковым состоянием дорожной одежды, баллы;

n – количество частных участков в составе однотипного участка.

Таблица / Table 1

Показатели состояния автомобильной дороги
Road condition indicators

Конструктивные элементы автомобильной дороги	Показатели состояния автомобильной дороги
Дорожные одежды капитального и усовершенствованного типа	Продольная ровность (IRI), м/км
	Общая оценка состояния покрытия по наличию дефектов (J)
	Коэффициент сцепления (C)
Дорожные одежды переходного типа	Общая оценка состояния покрытия по наличию дефектов
	Толщина слоя (H)
Земляное полотно	Общая оценка состояния покрытия по наличию деформаций и разрушений

Таблица / Table 2

Значения показателей продольной ровности дорожной одежды капитального типа
Values of indicators of longitudinal evenness of capital type pavement

Техническая категория дороги	Тип дорожной одежды			
	Капитальный		Облегченный	
	Ровность по индексу IRI, м/км, не более	Оценка B _{IRI} , баллы	Ровность по индексу IRI, м/км, не более	Оценка B _{IRI} , баллы
IA, IB	Более 4,0	1	-	-
	3,3	2	-	-
	2,8	3	-	-
	2,0	4	-	-
	< 2,0	5	-	-
IB, II	Более 4,5	1	-	-
	3,6	2	-	-
	2,7	3	-	-
	2,0	4	-	-
	менее 2,0	5	-	-
III	5,0	1	5,5	1
	4,0	2	4,0	2
	3,0	3	3,0	3
	2,0	4	2,0	4
	менее 2,0	5	1,0	5
IV	6,0	1	6,5	1
	5,0	2	5,0	2
	4,0	3	4,0	3
	3,0	4	3,0	4
	менее 2,6	5	менее 3,0	5
V	-	-	7,5	-
	-	-	6,0	2
	-	-	4,0	3
	-	-	3,0	4
	-	-	менее 3,0	5

Оценка сцепных свойств покрытия проезжей части производится в соответствии с табл. 3. Предельное значение коэффициента сцепления колеса автомобиля с покрытием должно быть не менее 0,3.

Таблица / Table 3

Значения коэффициента сцепления дорожной одежды капитального типа

Values of the coefficient of adhesion of the capital type pavement

№ п.п.	Значение коэффициента сцепления	Оценка Б _с , баллы
1	Более 0,35	5
2	0,33	4
3	0,32	3
4	0,3	2
5	менее 0,25	1

Уровень эксплуатационного состояния дорожной одежды капитального типа оценивается в баллах как среднее арифметическое значение оценок по показателям ровности, состояния покрытия и сцепления:

$$УЭС_{кт} = \frac{Б_{IRI} + Б_J + Б_с}{3}. \quad (2)$$

Уровень эксплуатационного состояния дорожной одежды переходного типа оценивается в баллах по формуле:

$$УЭС_{пт} = \frac{J_1 l_1 + J_2 l_2 + \dots + J_n l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}, \quad (3)$$

где J_i и l_i – соответствующие баллы (по табл. 4) и протяженность i -х участков каждой полосы с практически одинаковым состоянием дорожной одежды, баллы;

n – количество частных участков в составе однотипного участка.

Таблица / Table 4

Дефекты покрытия проезжей части переходного и низшего типов

Defects in the pavement of the roadway of the transitional and lower types

№ п.п.	Вид дефекта	Оценка, баллы
1	Без дефектов	5,0
2	Толщина слоя: имеет отклонения от проектных значений до 5%	5,0
3	Толщина слоя: имеет отклонения от проектных значений от 5 до 20%	3,9
4	Толщина слоя: имеет отклонения от проектных значений более 20%	1,0
5	Отдельные выбоины на расстоянии 20–40 м между выбоинами	4,9
6	То же на расстоянии 10–20 м	4,6
7	Просадки (пучины) при относительной площади просадок 20–10%	1,2
8	То же 50–20%	0,9
9	То же более 50%	0,5
10	Проломы дорожной одежды (вскрывшиеся пучины) при относительной площади, занимаемой проломами, 10–5%	1,2
11	То же 30–10%	0,9
12	То же более 30%	0,5
13	Гребенка	2,4

Уровень эксплуатационного состояния земляного полотна оценивается на основе данных о размерах и количестве деформаций (просадок, сползания откосов и т.п.) (табл. 5) в соответствии с формулой:

$$УЭС_{зп} = \frac{J_1 l_1 + J_2 l_2 + \dots + J_n l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_n}, \quad (4)$$

где J_i и l_i – соответствующие баллы и протяженность i -х участков, баллы;

n – количество частных участков в составе однотипного участка.

Таблица / Table 5

Виды деформаций и разрушений земляного полотна
Types of deformation and destruction of the roadbed

№ п.п.	Вид деформаций, разрушений земляного полотна	Оценка, баллы
1	Без деформаций и разрушений	5,0
2	Локальные деформации, вызванные нарушениями технологии производства строительных работ, ошибками в проектировании, недостаточными мероприятиями по содержанию и т.п.	3,2
3	Локальные просадки грунтов обратной засыпки водопропускных сооружений, насыпей подходов к мостам и т.п.	1,5
4	Локальные размывы откосов из-за несвоевременной очистки элементов водоотвода (лотков, водосбросов) и т.п.	3,2
5	Наличие подтопляемых и снегозаносимых участков, переустройство пучинистых, оползневых и обвальных участков	1,0
6	Наличие размывов и разрушенных участков	1,5
7	Сниженная прочность земляного полотна	1,0
8	Нарушение работы системы водоотвода, нехватка элементов системы водоотвода	3,0

Выбор мероприятий производится в соответствии с табл. 6.

Таблица / Table 6

Вид мероприятий в зависимости от значения УЭС
Type of events depending on the value УЭС

УЭС	Состояние	Мероприятия по содержанию, ремонту и капитальному ремонту	Мероприятия по обеспечению безопасности дорожного движения
5	Отличное	Содержание	Нет ограничений
4	Хорошее	Содержание/ремонт	При плохих погодных условиях (дождь, ветер, метель и т.п.) требуется ограничение скорости
3	Удовлетворительное	Ремонт	Ограничение скорости
2	Низкое	Капитальный ремонт	Ограничение скорости
Менее 1	Очень низкое	Капитальный ремонт	Ограничение скорости

Этап II. Выявленные на стадии I локальные участки отказа работы конструкции дорожной одежды и земляного полотна подвергаются более детальному исследованию с целью выявления причин разрушения, инженерно-геологических и инженерно-гидрометрических условий.

Полученные данные позволяют повысить эффективность назначения ремонтных мероприятий и планирования распределения финансовых ресурсов сети автомобильных дорог регионального и местного значения.

Результаты

Предложенный подход реализован при оценке состояния автомобильных дорог Иркутской области и Республики Бурятия.

Этап I.

В табл. 7 приведены результаты диагностики участка автомобильной дороги с дорожной одеждой капитального типа.

Таблица / Table 7

Результаты диагностики автомобильной дороги
Diagnostic results of road

Км	Дефекты, общая оценка J	Модуль упр. факт. $E_{факт.}$, МПа	Коэф-фициент проч-ности	Ровность (IRI), м/км, полоса 1	Ровность (IRI), м/км, полоса 2	Коэф-фициент сцепления, полоса 1	Коэф-фициент сцепления, полоса 2	Ров-ность B_{IRI} , баллы	Коэф-фициент сцепления B_c , баллы	УЭС, баллы
0	3,5	230	0,85	3,56	4,7	0,51	0,53	2	5	3,5
1	3,5	230	0,85	3,68	4,56	0,5	0,49	2	5	3,5
2	3,0	216	0,8	4,07	3,59	0,48	0,45	2	5	3,3
3	3,0	216	0,8	3,44	4,53	0,52	0,54	2	5	3,3
4	3,0	216	0,8	3,49	4,99	0,51	0,53	2	5	3,3
5	3,0	216	0,8	3,6	4,58	0,49	0,48	2	5	3,3
6	3,0	216	0,8	3,69	3,85	0,47	0,44	2	5	3,3
7	3,5	230	0,85	3,7	3,84	0,44	0,46	2	5	3,5
8	3,5	230	0,85	3,42	4,19	0,45	0,47	2	5	3,5
9	3,0	216	0,8	2,86	3,5	0,5	0,52	2	5	3,3
1	2,8	203	0,75	3,23	3,19	0,49	0,47	3	5	3,6
1	3,5	230	0,85	3,44	3,91	0,53	0,54	2	5	3,5
1	3,5	230	0,85	3,38	3,7	0,48	0,51	3	5	3,8
1	3,5	230	0,85	3,18	4,94	0,52	0,5	2	5	3,5
1	3,0	216	0,8	3,52	5,03	0,48	0,46	2	5	3,3
1	1,0	162	0,6	3,33	5,0	0,53	0,54	2	5	2,7
1	3,0	216	0,8	4,39	5,12	0,49	0,52	1	5	3,0
1	3,0	216	0,8	3,84	4,36	0,54	0,52	2	5	3,3
1	3,5	230	0,85	3,53	3,19	0,48	0,46	3	5	3,8
1	3,5	230	0,85	4,36	3,51	0,52	0,53	2	5	3,5
2	3,0	216	0,8	4,74	4,18	0,41	0,44	2	4	3,0
2	3,0	216	0,8	4,96	4,72	0,45	0,43	1	4	2,7
2	3,5	230	0,85	4,4	3,79	0,42	0,4	2	4	3,2
2	3,5	230	0,851	2,77	3,39	0,47	0,48	2	5	3,5

На рисунке 5 приведено сопоставление значений коэффициента прочности и уровня эксплуатационного состояния, определенного по приведенной выше методике. Как видно из рисунка 1, участки, имеющие сниженные значения коэффициента прочности, соответствуют участкам с низким УЭС.

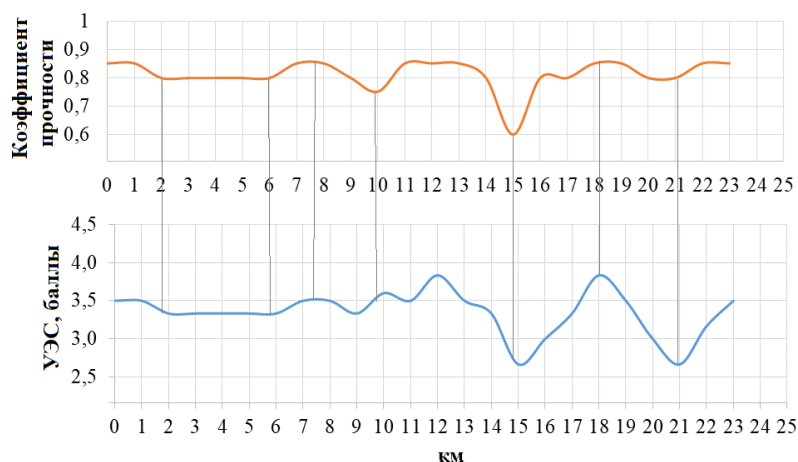


Рис. 1. Состояние дорожной одежды капитального типа участка автомобильной дороги

Fig. 1. The condition of the pavement of the capital type of the highway section

Для оценки статистической взаимосвязи использован коэффициент корреляции Пирсона:

$$r_{XY} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}}, \quad (3)$$

где $\bar{Y}$, $\bar{X}$ – средние значения выборок X и Y.

Значение коэффициента корреляции Пирсона составило $r_{XY} = 0,71$, что свидетельствует о хорошей взаимосвязи значений коэффициента прочности и УЭС.

Также на стадии 1 выявлен участок протяженностью 900 м, имеющий значительные дефекты и деформации (рисунок 2): просадка земляного полотна; трещины на асфальтобетонном покрытии; разрушение асфальтобетонного покрытия.



Рис. 2. Деформации участка автомобильной дороги

Fig. 2. Deformations of the highway section

Этап II. Определение причин возникновения дефектов.

Дефекты, деформации и разрушения выявлены на участке, указанном на рисунке 3.



Рис. 3. Схема размещения строительства автомобильной дороги

Fig. 3. Layout of the highway construction

Для определения причин возникновения деформаций и разрушений выполнена исполнительная геодезическая съемка. Величина просадок составила до 0,57 м.

На характерных участках максимальной деформации и на участке с отсутствием дефектов выполнена проходка пяти скважин и отобраны образцы грунта. Скважины № 1 и 4 расположены в начале и в конце исследуемого участка для проверки и подтверждения инженерно-

геологического разреза проектной документации. Скважины № 2, 3 и 5 пройдены в местах максимальной деформации.

По результатам исследования полученных образцов грунта на участке наибольших деформаций в инженерно-геологическом строении принимают участие элементы, указанные в табл. 8.

Таблица / Table 8

Виды грунтов, залегающих в основании земляного полотна
Types of soils lying at the base of the roadbed

По данным проектной документации	По результатам выполненного исследования
- суглинки тяжелые, пылеватые, твердые, до глубины 2,8–3,8 м; - супесь пылеватая пластичная и супесь пылеватая текучая, до глубины 5,0–6,5 м	- супесь пластичная; - песок мелкий, слабо уплотненный, средней степени водонасыщения; - песок мелкий, плотный, средней степени водонасыщения; - остатки древесных выносов средней влажности, среднеразложившиеся, очень рыхлые; - песок пылеватый, средней плотности, насыщенный водой

В скважинах № 2, 3 и 5 в основании земляного полотна залегают слабые грунты, представленные остатками древесных выносов, щепой средней влажности, среднеразложившиеся, очень рыхлые (рисунок 4). Данные грунты являются продуктом водно-эрозионных процессов в долине реки Иркут, а именно являются результатом руслового процесса ограниченного меандрирования, сопровождающегося в периоды повышенной водности интенсивным карчеходом и последующей аккумуляцией остатков древесной растительности в совокупности с аллювиальными наносами на пойменных элементах речной долины, формирующих в последствии речные террасы.

Геологический индекс	Мощность слоя, м	Глубина слоя, м	Абс. отметка подошвы слоя, м	Геологический разрез	Наименование пород и их характеристика	Сведения о воде		Глубина отбора образцов
						поверхность воды	установ. уровень	
t	0.90	0.90	714.20	(1сс)	Насыпной щебенчатый грунт с супесью пластичной до 35%, сезонномерзлый			
t	0.70	1.60	713.50	(12сс)	Насыпной щебенчатый грунт, с глыбами до 20%, с супесью пластичной до 35%, сезонномерзлый			
Q	1.00	2.60	712.50	(с4пл)	Супесь песчаная, пластичная, сезонномерзлая			2
				(3сб)	Остатки древесных выносов (древесина, щепа, древесные остатки), средней влажности, среднеразложившиеся, очень рыхлые			4
Q	5.30	7.90	707.20			7.90	7.90	6
Q	1.10	9.00	706.10	(5нб)	Песок пылеватый, средней плотности, водонасыщенный	01.03.2021	01.03.2021	8

Рис. 4. Скважина № 2

Fig. 4. Well no. 2

Таким образом, основание земляного полотна сложено грунтами, имеющими низкую несущую способность, и подвержены уплотнению под воздействием статических и динамических нагрузок от транспортных средств, обводнение в паводковый период.

В скважинах № 1 и 4, которые располагаются на участках с отсутствием деформаций, данные грунты отсутствуют.

При проведении инженерных изысканий на стадии разработки проектной документации геологические скважины проходились шагом 300–400 м, глубиной 5–10 м, что является допустимым, согласно нормативным документам (СП 47.13330), для проектирования автомобильных дорог.

На участок с выявленными деформациями земляного полотна ни одна скважина не попала, и, соответственно, инженерно-геологический профиль был построен в соответствии с правилами построения инженерно-геологических разрезов методом корреляции.

Геоморфологические особенности участка строительства и факт наличия вышеописанных грунтов у основания насыпи не был учтен при проектировании участка дороги. В результате чего происходит постепенная, неравномерная осадка тела земляного полотна с возникновением деформаций земляного полотна, а также трещин и сетки трещин на асфальтобетонном покрытии.

Заключение

Для оценки состояния автомобильных дорог регионального и местного значения предлагается использовать укрупненный показатель – уровень эксплуатационного состояния (УЭС). Применение этого показателя позволит повысить эффективность планирования ремонтных мероприятий на сети автомобильных дорог.

Предложенный в работе метод оценки состояния автомобильных дорог позволит в условиях ограниченного финансирования сети автомобильных дорог регионального и местного значения значительно снизить расходы на проведение ежегодной диагностики автомобильных дорог без снижения ее эффективности.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

С.В. Ключев – разработка концепции и дизайна исследования; Н.А. Слободчикова – сбор данных; С.В. Ключев, Н.А. Слободчикова – анализ и интерпретация результатов; подготовка и редактирование текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

S.V. Klyuev – study conception and design; N.A. Slobodchikova – data collection; S.V. Klyuev, N.A. Slobodchikova – analysis and interpretation of results; draft manuscript preparation. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Корневский В.В., Кнышов А.А., Мордик Е.А. Оптимизация методов диагностики и оценки технического состояния автомобильных дорог // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2019. № 9. С. 198–202.
2. Просверяков В.А. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния участка автомобильной дороги с усовершенствованным капитальным типом покрытия // Форум молодых ученых. 2019. № 11(39). С. 350–354.
3. Мартыанов В.И., Степаненко А.А. Проектирование баз данных автодорожной отрасли на основе теоретико-множественного анализа сложных систем // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12, № 2(41). С. 214–223.
4. Слободчикова Н.А., Лофлер М. Методики подбора составов грунтов, укрепленных известью, для дорожного строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8, № 2. С. 141–147.

5. Васильев А.П. Принципы прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния дорог // Автомобильные дороги. 1993. № 1. С. 8–10.
6. Al-Omari B., Darter M.I. Relationships Between IRI and PSR: Interim Report // Illinois Department of Transportation. 1992. P. 71.
7. Демишкан В.Ф. Совершенствование управления состоянием автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов: дис. ... канд. техн. наук. Харьков, 2000. 171 с.
8. Ермошин Н.А., Романчиков С.А., Аверьянов Д.А. Имитационное моделирование риска разрушения дорожных конструкций в межремонтный период // Путь навигатор. 2022. № 50(76). С. 30–41.
9. Бирюков Ю.А., Бирюков А.Н., Бирюков Д.В., Бирюков Н.А., Добрышкин Е.О., Бондарев А.В. Способ дистанционного контроля состояния конструкций и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2734446 С1, 16.10.2020.
10. Маругин В.М., Бирюков А.Н., Лазарев А.Н., Мороз А.М., Чмырёв В.А. Экспертные формы контроля (на примерах оценки строительных объектов и самооценки строительных предприятий): монография. СПб., 2012.
11. Санников С.П., Замятин А.В., Жигайлов А.А., Маслов Д.В. Земляное полотно автомобильных дорог на заболоченных территориях с использованием опорной обоймы // Путь навигатор. 2019. № 41(67). С. 44–48.
12. Talvik O., Aavik A. Use of FWD deflection basin parameters (SCI, BDI, BCI) for pavement condition assessment // Balt. J. Road. Bridg. Eng. 2009. № 4. P. 196–202. DOI: <https://doi.org/10.3846/1822-427X.2009.4.196-202>
13. Shah Y.U., Jain S.S., Tiwari D., Jain M.K. Development of Overall Pavement Condition Index for Urban Road Network // Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2013. P. 332–341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.126>.
14. McCarthy J., Fitzgerald L., McLaughlin J., Mulry B., O'brien D., Dowling K. Rural Flexible Roads Manual-Pavement Surface Condition Index. Vol. 1 of 3 // Department of Transport, Tourism and Sports. 2014.
15. Pirayonesi S.M., El-Diraby T.E. Examining the relationship between two road performance indicators: Pavement condition index and international roughness index // Transportation Geotechnics. 2021. P. 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100441>
16. Arhin S.A., Williams L.N., Ribbiso A., Anderson M.F. Predicting pavement condition index using international roughness index in a dense urban area // J Civ Eng Res. 2015. № 5. P. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.5923/j.jce.20150501.02>
17. Lin J.-D., Yau J.-T., Hsiao L.-H. Correlation analysis between international roughness index (IRI) and pavement distress by neural network // Transportation Research Board. Washington DC., 2003.
18. Chandra S., Sekhar C.R., Bharti A.K., Kangadurai B. Relationship between pavement roughness and distress parameters for Indian highways // J Transp Eng. 2013. № 139. P. 467–475. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000512](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000512)
19. Park K., Thomas N.E., Wayne L.K. Applicability of the international roughness index as a predictor of asphalt pavement condition // J Transp Eng. 2007. № 133. P. 706–709. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2007\)133:12\(706\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2007)133:12(706))
20. Dewan S.A., Smith R.E. Estimating international roughness index from pavement distresses to calculate vehicle operating costs for the San Francisco Bay Area // Transp Res Rec J Transp Res Board. 2002. № 1816. P. 65–72.

REFERENCES

1. Korenevsky V.V., Knyshov A.A., Mordik E.A. Optimization of diagnostic methods and assessment of the technical condition of highways. *Humanities, socio-economic and social sciences*, 2019, no. 9, pp. 198–202. (In Russ.).
2. Prosviryakov V.A. Assessment of the transport and operational condition of a section of a highway with an improved capital type of coating. *Forum of young scientists*, 2019, no. 11(39), pp. 350–354. (In Russ.).
3. Martianov V.I., Stepanenko A.A. Designing databases of the road industry based on the set-theoretic analysis of complex systems. *News of universities. Investment. Construction. Real Estate*, 2022, vol. 12, no. 2(41), pp. 214–223. (In Russ.).
4. Slobodchikova N.A., Lafleur M. Methods of selecting lime-reinforced soil compositions for road construction. *News of universities. Investment. Construction. Real Estate*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 141–147. (In Russ.).
5. Vasiliev A.P. Principles of forecasting the transport and operational condition of roads. *Highways*, 1993,

- no. 1, pp. 8–10. (In Russ.).
6. Al-Omari B., Darter M.I. Relationships between IRI and PSR: interim report. Illinois Department of Transportation, 1992, pp. 71.
 7. Demishkan V.F. Improving the management of the condition of highways in conditions of limited resources. PhD (Eng.) Tesis. Kharkov, 2000, 171 p. (In Russ.).
 8. Yermoshin N.A., Romanchikov S.A. Averyanov D.A. Simulation modeling of the risk of destruction of road structures during the inter-repair period. *Travel navigator*, 2022, no. 50(76), pp. 30–41. (In Russ.).
 9. Biryukov Yu.A., Biryukov A.N., Biryukov D.V., Biryukov N.A., Dobryshkin E.O., Bondarev A.V. A method for remote monitoring of the condition of structures and a device for its implementation. Patent for the invention RU 2734446 C1, 10/16/2020. (In Russ.).
 10. Marugin V.M., Biryukov A.N., Lazarev A.N., Moroz A.M., Chmyrev V.A. Expert forms of control (using examples of evaluation of construction sites and self-assessment of construction enterprises). St. Petersburg, 2012. (In Russ.).
 11. Sannikov S.P., Zamyatin A.V., Zhigailov A.A., Maslov D.V. Roadbed in wetlands using a support cage. *Travel navigator*, 2019, no. 41(67), pp. 44–48. (In Russ.).
 12. Talvik O. Aavik A. Use of FWD deflection basin parameters (SCI, BDI, BCI) for pavement condition assessment. *Balt. J. Road. Bridg. Eng.*, 2009, no. 4, pp. 196–202. DOI: <https://doi.org/10.3846/1822-427X.-2009.4.196-202>
 13. Shah Y.U., Jain S.S., Tiwari D., Jain M.K. Development of overall pavement condition index for urban road network. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013, pp. 332–341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.126>
 14. McCarthy J., Fitzgerald L., McLaughlin J., Mulry B., O'brien D., Dowling K. Rural Flexible Roads Manual-Pavement Surface Condition Index. Vol. 1 of 3. *Department of Transport, Tourism and Sports*, 2014.
 15. Pirayonesi S.M., El-Diraby T.E. Examining the relationship between two road performance indicators: Pavement condition index and international roughness index. *Transportation Geotechnics*, 2021, pp. 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100441>
 16. Arhin S.A., Williams L.N., Ribbiso A., Anderson M.F. Predicting pavement condition index using international roughness index in a dense urban area. *J Civ Eng Res*, 2015, no. 5, pp. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.5923/j.jce.20150501.02>
 17. Lin J.-D., Yau J.-T. Hsiao L.-H. Correlation analysis between international roughness index (IRI) and pavement distress by neural network. *Transportation Research Board*. Washington DC, 2003.
 18. Chandra S., Sekhar C.R., Bharti A.K., Kangadurai B. Relationship between pavement roughness and distress parameters for Indian highways. *J Transp Eng*, 2013, no. 139, pp. 467–475. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000512](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000512)
 19. Park K., Thomas N.E., Wayne L.K. Applicability of the international roughness index as a predictor of asphalt pavement condition. *J Transp Eng*, 2007, no. 133, pp. 706–709. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2007\)133:12\(706\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2007)133:12(706))
 20. Dewan S.A., Smith R.E. Estimating international roughness index from pavement distresses to calculate vehicle operating costs for the San Francisco Bay Area. *Transp Res Rec J Transp Res Board*, 2002, no. 1816, pp. 65–72.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Клюев Сергей Васильевич – доктор технических наук, профессор, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова (Белгород, Российская Федерация); Российский университет дружбы народов (Москва, Российская Федерация)

✉ klyuyev@yandex.ru

Sergey V. Klyuev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Belgorod, Russian Federation); RUDN University (Moscow, Russian Federation)

Слободчикова Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск, Российская Федерация)

✉ NSlobodchikova@rambler.ru

Nadezhda A. Slobodchikova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russian Federation)

Статья поступила в редакцию / Received: 22.07.2024.

Доработана после рецензирования / Revised: 13.11.2024.

Принята к публикации / Accepted: 09.12.2024.