

УДК 625.76:625.758:005.8(575.3)

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ТАДЖИКИСТАНА

С.Б. Мирзозода, Ж.И. Содиков, Ф.С. Мирзоев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье раскрыты теоретические и практические аспекты основных показателей транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог Таджикистана. Охарактеризованы ключевые показатели технического состояния дорожной сети, выявлены существующие проблемы её содержания и приведены пути повышения эффективности эксплуатационного обслуживания. Проведён обзор международного опыта в части использования автоматизированных систем управления дорожными активами (СУДА), на основе которого даны рекомендации по адаптации лучших практик к условиям Таджикистана. Представлены схемы диагностического процесса и сравнительный график индекса IRI по регионам страны.

Ключевые слова: транспортно-эксплуатационное состояние, автомобильная дорога, автоматизированные системы, методы, показатели, содержание дорог, эффективность затрат.

НИШОНДИХАНДАҶОИ АСОСИИ ҲОЛАТИ НАКЛИЁТӢ-ИСТИФОДАБАРИИ РОҲҶОИ АВТОМОБИЛГАРДИ ТОҶИКИСТОН.

С.Б. Мирзозода, Ж.И. Содиков, Ф.С. Мирзоев

Дар мақолаи мазкур ҷанбаҳои назариявӣ ва амалии нишондиҳандаҳои асосии усулҳои мавҷудаи идоракунии ҳолати нақлиёти-истифодабарии роҳҳои автомобилгарди Тоҷикистон нишон дода шудаанд. Нишондиҳандаҳои асосии ҳолати техникии шабакаи роҳҳо таъсир карда шудаанд, мушкилоти мавҷудаи нигоҳдории он ошкор карда шудаанд ва роҳҳои баланд бардоштани самаранокии хизматрасонии истифодабарӣ оварда шудаанд. Баррасии таҷрибаи байналмиллалӣ оид ба истифодаи системаҳои автоматикунонидашудаи идоракунии дорон роҳҳо (СИДР) гузаронида шуд, ки дар асоси он таъсияҳо оид ба мутобикосозии таҷрибаҳои бехтарин ба шароити Тоҷикистон дода шудаанд. Схемаҳои раванди таҳҳис ва ҷадвали муқоисавии индекси ҳамворӣ (IRI) аз рӯи минтақаҳои кишвар пешниҳод карда шудаанд.

Калидвожаҳо: ҳолати нақлиёти-истифодабарӣ, роҳи автомобилгард, системаҳои автоматикунони, усулҳо, нишондодҳо, нигоҳдории роҳҳо, самаранокии хароҷот.

MAIN INDICATORS OF THE TRANSPORT AND OPERATIONAL CONDITION OF TAJIKISTAN'S ROADS

S.B. Mirzozoda, J.I. Sodikov, F.S. Mirzoev

This article covers theoretical and practical aspects of the main indicators of the transport and operational condition of highways in Tajikistan. Key indicators of the technical condition of the road network are characterized, existing problems of its maintenance are identified, and ways to improve the efficiency of operational maintenance are given. A review of international experience in the use of automated road asset management systems (RAMS) is conducted, based on which recommendations are given for adapting best practices to the conditions of Tajikistan. Schemes of the diagnostic process and a comparative graph of the IRI index by regions of the country are presented.

Keywords: transport and operational condition, highway, automated systems, methods, indicators, road maintenance, cost efficiency.

Введение

Автомобильные дороги играют решающую роль в обеспечении территориальной связанности и экономического развития Республики Таджикистан. При этом эксплуатационная пригодность дорог, оцениваемая через совокупность транспортно-эксплуатационных показателей, во многом определяет безопасность движения, скорость перевозок и уровень транспортных издержек. Особенности горного рельефа, сейсмичность, климатические нагрузки и ограниченные финансовые ресурсы существенно осложняют задачи содержания дорожной сети на необходимом уровне. В данных условиях особое значение приобретает системный подход к мониторингу и поддержанию транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог (ТЭСАД) [1, 2].

Основные элементы ТЭСАД и нормативные требования

ТЭСАД включает совокупность показателей, характеризующих пригодность дороги к безопасной и эффективной эксплуатации. К основным элементам относят:

- Индекс продольной ровности (IRI);
- Коэффициент сцепления колёс с покрытием;
- Поверхностные дефекты;
- Состояние обочин, водоотводов и дорожных знаков;
- Прогноз износа покрытий.

Нормативные документы Республики Таджикистан, такие как СНиП 2.05.02-85 и ГОСТ 33132-2014, предусматривают регулярный контроль состояния вышеуказанных показателей с использованием визуальных и инструментальных методов [1, 2].

Методы и формулы расчета элементов ТЭСАД

Для количественной оценки износа и состояния покрытия могут быть использованы следующие формулы:

1. Определение продольной ровности покрытия (IRI).

IRI определяется как интегральная характеристика вертикального профиля дороги, отражающая степень комфортности и безопасности движения. Используются следующие методы:

- **Имитационный (двухмассовый) метод** - измерение реакции платформы с инерционной системой при движении;
- **Профилографический метод** - регистрация вертикальных перемещений точек дорожной поверхности;
- **Метод лазерного профилирования** - наиболее точный, используется в системах PMS и HDM-IV.

а) Расчёт продольной ровности (IRI) по отклонениям профиля выполняется по формуле:

$$IRI = (\Sigma[Z(i) - Z(i-1)]) / L \quad (1)$$

где $Z(i)$ - вертикальное отклонение (м); L - длина участка (км).

Пример расчёта:

Если сумма отклонений 45 мм на 100 м, то $IRI = 0,045 \text{ м}/0,1 \text{ км} = 0,45 \text{ м/км}$ (отличное состояние).

б) Расчёт продольной ровности (IRI) по модели HDM-4 выполняется по формуле:

$$IRI(t) = IRI_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot ESAL^{\beta_3} \quad (2)$$

где $IRI(t)$ - расчётное значение индекса продольной ровности покрытия автомобильной дороги (м/км) на момент времени t ;

IRI_0 - исходное (начальное) значение индекса продольной ровности покрытия дороги (м/км), измеренное непосредственно после строительства или предыдущего ремонта;

$ESAL$ - накопленная за период эксплуатации нагрузка на дорожное покрытие, выраженная в эквивалентных осях (миллион экв. осей). Одна эквивалентная ось обычно соответствует оси с нагрузкой 8,2 т.;

t - период эксплуатации дороги после начального состояния (лет);

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - эмпирические коэффициенты, определяемые по результатам натурных исследований и калибровки модели для конкретных климатических и эксплуатационных условий. Они учитывают особенности местного дорожного покрытия, интенсивность движения, погодные условия и технологию строительства [5, 6].

Пример расчёта по модели HDM-IV:

Если: начальное значение индекса продольной ровности $IRI_0=2,0 \text{ м/км}$ - дорога находится в хорошем состоянии; период эксплуатации дороги $t=5$ лет; накопленная нагрузка $ESAL=1,5$ млн. экв. осей; коэффициенты: $\beta_1=0,15$ коэффициент увеличения IRI вследствие климатических и временных факторов (естественное старение покрытия); $\beta_2=0,3$ и $\beta_3=0,4$ коэффициенты, характеризующие воздействие транспортной нагрузки (интенсивность и весовые параметры движения).

Подставим значения в формулу:

$$IRI(5) = 2,0 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot (1,5)^{0,4} = 3,10 \text{ м/км}$$

Полученное значение $IRI=3,10 \text{ м/км}$ указывает на ухудшение эксплуатационного состояния дороги. Обычно нормативами считаются:

- **IRI до 2,0-2,5 м/км** - хорошее состояние;
- **IRI от 2,5 до 4,0 м/км** - удовлетворительное состояние (рекомендуется средний ремонт);
- **IRI выше 4,0 м/км** - плохое состояние (требуется капитальный ремонт).

Полученный индекс (3,10 м/км) означает, что дорога находится в зоне «удовлетворительного состояния», близка к «плохому состоянию» и требует проведения среднего ремонта или других мероприятий по восстановлению.

Изменение индекса продольной ровности (IRI) по времени, графически изображено на **Рис. 1**.

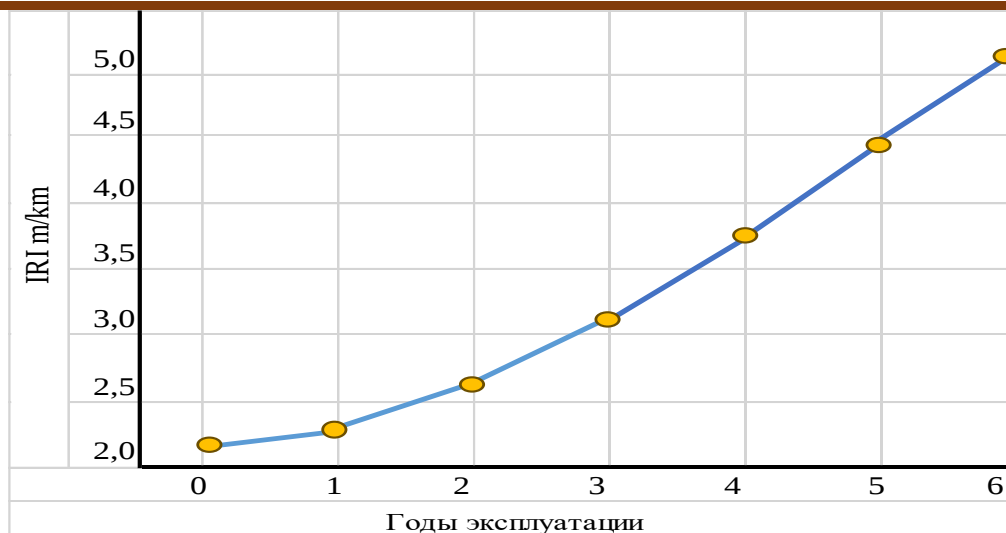


Рисунок 1 - График изменения индекса продольной ровности (IRI) по времени

Данный график показывает нарастание неровностей дорожного покрытия в течение 6 лет эксплуатации. Начальное значение IRI в 2,0 м/км постепенно увеличивается, достигая 5,2 м/км на 6-ой год, что указывает на ухудшение состояния покрытия. Такая динамика требует планового вмешательства, например, в форме назначения среднего ремонта на 4-5 году, чтобы избежать перехода дорожного покрытия в неудовлетворительное состояние и роста транспортных издержек.

Таким образом, график позволяет наглядно определить момент времени, когда необходимо проведение мероприятий по ремонту и восстановлению покрытия дороги, чтобы обеспечить нормативные показатели и безопасность дорожного движения.

2. Коэффициент сцепления (f) рассчитывается с помощью тормозного стенда или измерителей трения:

$$f = (F_T / G) \quad (3)$$

где f - коэффициент сцепления покрытия дороги (безразмерная величина, численно равная отношению сил);

F_T - сила тяги (трения), возникающая между шиной автомобиля и дорожным покрытием при торможении, измеряется в Ньютонах (Н);

G - вес (сила тяжести) автомобиля, действующая на дорожное покрытие, также измеряется в Ньютонах (Н).

Пример расчёта:

Допустим, в результате испытаний на тормозном стенде или специальным прибором были получены следующие показатели:

Сила тяги (сила трения) $F_T = 1800$ Н; Вес автомобиля $G = 9000$ Н.

Подставляем значения в формулу: $f = 1800/9000 = 0,2$.

Полученное значение коэффициента сцепления $f=0,2$ находится ниже нормативного предела (обычно нормативы требуют коэффициент не менее 0,3-0,4, в зависимости от типа дороги и покрытия). Это означает, что дорожное покрытие не обеспечивает достаточной безопасности и требует проведения работ по выравниванию, очистке или замене покрытия.

3. Поверхностные дефекты оцениваются через дефектный балл (D):

$$D = \sum(K_i * L_i) / L_{\text{общ}} \quad (4)$$

где D - дефектный балл дорожного покрытия (безразмерная величина), отражающий состояние поверхности дороги;

K_i - коэффициент важности конкретного дефекта. Чем выше значение коэффициента, тем серьезнее дефект влияет на эксплуатационное состояние дороги;

L_i - длина зоны дорожного покрытия с конкретным дефектом (м);

$L_{\text{общ}}$ - общая длина обследуемого участка дороги (м).

Пример расчёта:

Исходные данные: коэффициент важности трещин $K_{\text{трещины}}=2$; длина участка с трещинами $L_1=40$ м; коэффициент важности выбоин $K_{\text{выбоины}}=3$; длина участка с выбоинами $L_2=30$ м; общая длина обследуемого участка дороги $L_{\text{общ}}=100$ м;

Подставим значения в формулу: $D = (2 \times 40 + 3 \times 30) / 100 = (80 + 90) / 100 = 1,7$

Полученное значение **D=1,7** указывает на **неудовлетворительное состояние покрытия**.

4. Состояние обочин, водоотводов и дорожных знаков.

Оценка этих элементов осуществляется по балльной системе с использованием визуального контроля. Каждый элемент имеет свою шкалу оценки [6, 7]:

- **Обочины** - оцениваются по ровности, наличию осыпей, эрозии:
 - 0 – разрушены
 - 1 – частично разрушены
 - 2 – удовлетворительное состояние
 - 3 – хорошее состояние
- **Водоотводы (кюветы, лотки)** - оцениваются по способности отвода воды и наличию засоров:
 - 0 – полностью засорены
 - 1 – ограниченная проводимость воды
 - 2 – работают частично
 - 3 – функционируют штатно
- **Дорожные знаки** - оцениваются по их наличию, читаемости и вертикальности:
 - 0 – отсутствуют
 - 1 – повреждены
 - 2 – читаемы с искажением
 - 3 – в полном порядке

Итоговая оценка участка (по 5 критериям) определяется по формуле:

$$Q = (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n) / n \quad (5)$$

где Q_n - оценка по каждому элементу.

Пример расчёта: обочины: 1 балл (частично разрушены); водоотводы: 2 балла (частично работают); дорожные знаки: 3 балла (в норме).

$Q = (1 + 2 + 3) / 3 = 2,0$ (состояние удовлетворительное, но требует улучшений).

5. Прогноз износа покрытия определяется по формуле:

$$I(t) = I_0 + (\alpha \cdot N \cdot t) \quad (6)$$

где $I(t)$ - накопленный износ покрытия за период эксплуатации (мм); I_0 - **исходный износ покрытия (мм)**, обычно принимается 0 для нового покрытия; α - коэффициент износа покрытия, характеризует скорость износа на одно транспортное средство в сутки за 1 год (мм/(авт./сут.*год)); N - интенсивность движения, количество автомобилей в сутки (авт./сут.); t - период эксплуатации покрытия (лет).

Пример расчёта: $I_0 = 0$; $\alpha = 0,001-0,002$; $N = 5000$ авт./сут.; $t = 5$ лет;

$I(t) = 0 + (0,001 \cdot 5000 \cdot 5) = 0 + 25 = 25$ мм.

Накопленный износ покрытия за 5 лет эксплуатации составит 25 мм.

На **Рис.2** представлена блок-схема, которая иллюстрирует поэтапный процесс обследования состояния автомобильных дорог, начиная от сбора исходной информации до формирования технического отчёта. Такой подход обеспечивает последовательность, объективность и воспроизводимость оценки состояния дорожной сети. Важно, чтобы все этапы выполнялись регулярно и с применением современных диагностических средств, что является основой для эффективного управления дорожными активами [5].



Рисунок 2 - Этапы обследования и оценки ТЭСАД

Текущее состояние дорожной сети и проблемы её содержания

Анализ состояния республиканской дорожной сети показывает, что значительная её часть нуждается в капитальном или текущем ремонте. По экспертным оценкам, уровень износа покрытия на отдельных участках достигает 70-80%, особенно в отдалённых и горных районах. Основные проблемы:

- *Нерегулярная диагностика состояния дорог*, что затрудняет планирование ремонтов и профилактических мероприятий;
- *Недостаточное финансирование*, не позволяющее реализовывать комплексные программы содержания;
- *Отсутствие специализированной техники и обученного персонала*, особенно в региональных дорожно-эксплуатационных управлениях;
- *Стихийность и реактивный подход к ремонту*, когда мероприятия проводятся только после возникновения серьёзных повреждений [5].

Таблица 1 - Средние значения индекса IRI по регионам Таджикистана

Регионы Республики Таджикистан	Значения IRI, м/км
Согдийская область	3,5
Хатлонская область	4,2
Горно-Бадахшанская автономная область (ГБАО)	5,8
Районы республиканского подчинения (РРП)	4,6
Допустимое значение согласно нормативу	< 3,0

Представленные в таблице 1 значения индекса продольной ровности (IRI) отражают текущий уровень деформаций и неровностей покрытия в разрезе регионов. Значение выше 3,0 м/км считается критическим и требует вмешательства в виде выравнивающего слоя или капитального ремонта. Наиболее неблагоприятная ситуация наблюдается в ГБАО, где индекс ровности составляет 5,8 м/км, что обусловлено сложным горным рельефом, повышенной сейсмичностью и недостатком технических ресурсов для своевременного обслуживания. Данные значения получены на основе анализа полевых обследований, выполненных мобильными диагностическими комплексами в 2024 году [5].

Международный опыт и возможности адаптации

Во многих странах с развитой дорожной инфраструктурой используются автоматизированные системы управления дорожными активами (PMS - Pavement Management System). Эти системы позволяют:

- собирать и обрабатывать данные о состоянии дорожного полотна с помощью мобильных лабораторий и ГИС;
- моделировать износ покрытия и прогнозировать его состояние на перспективу;
- оценивать стоимость различных ремонтных стратегий и выбирать оптимальные с учётом бюджета [3, 4].

Наиболее эффективные PMS-системы внедрены в США (AASHTO PMS), Канаде (TAC), Японии и странах Евросоюза. Для условий Таджикистана актуальна разработка адаптированной PMS-системы, учитывающей особенности рельефа, климата и ресурсных ограничений.

Представленная на **Рис. 3** схема демонстрирует логическую структуру типичной системы управления дорожными активами (СУДА), обеспечивающей сбор, анализ и использование данных для принятия решений по ремонту и обслуживанию дорожной сети. Система ориентирована на цикличность и замкнутость процесса: от фиксации дефектов до контроля выполнения работ. Её внедрение позволяет существенно повысить обоснованность и эффективность затрат на содержание дорог, особенно в условиях ограниченного бюджета [3, 4].

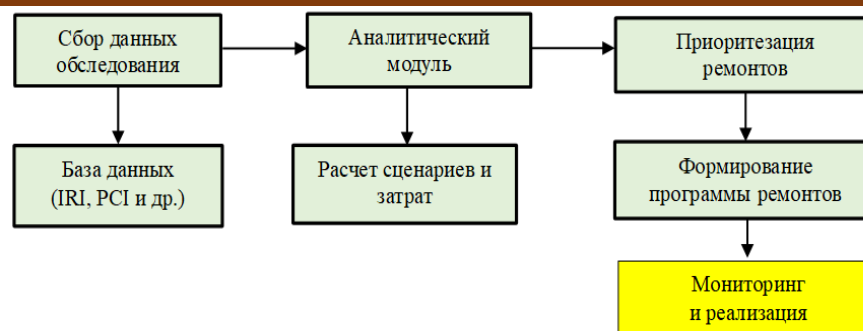


Рисунок 3 - Структура типичной системы управления дорожными активами (СУДА)

Выводы и предложения

Для повышения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог необходимо выполнение следующих действий:

- систематизация обследований;
- цифровизация данных;
- внедрение системы СУДА;
- подготовка квалифицированных кадров;
- использование моделей износа, ровности, коэффициентов сцепления и дефектов покрытия [5].

Указанные меры позволяют существенно повысить эффективность использования ограниченных ресурсов и обеспечить устойчивое развитие дорожно-транспортной инфраструктуры страны.

Рецензент: Сайраҳмонов Ғ.Х. - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой

"Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций" ТПУ им. акад. М.С. Осими.

Литература

1. ГОСТ 33132-2014. Автомобильные дороги общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию.
2. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги.
3. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures - American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
4. Transportation Association of Canada (TAC). Pavement Asset Design and Management Guide. - Ottawa, 2013.
5. World Bank. Highway Development and Management Model (HDM-4) Manual. - 2013.
6. Методические рекомендации по оценке эксплуатационного состояния автомобильных дорог. - М.: Росавтодор, 2017.
7. Дорожное хозяйство и безопасность движения: Учебник / под ред. В.И. Блинова. - М.: Транспорт, 2008.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Мирзозода Сухроб Бегмат	Мирзозода Сухроб Бегмат	Mirzozoda Sukhrob Begmat
номзади илмҳои техникӣ, дотсент	кандидат технических наук, доцент	candidate of technical sciences, professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ.	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi.
E-mail: sukhrob63@mail.ru		
TJ	RU	EN
Содиқов Жамшид Иброҳим Угли	Содиқов Жамшид Иброҳим Угли	Sodikov Jamshid Ibromhim Ugli
доктори илмҳои техникӣ, профессор	доктор технических наук, профессор	doctor of technical sciences, professor
Донишгоҳи Давлатии Нақлиёти Тошканд	Ташкентский государственный транспортный университет	Tashkent State Transport University
E-mail: osmijam@gmail.com		
TJ	RU	EN
Мирзоев Фаридун Сухробович	Мирзоев Фаридун Сухробович	Mirzoev Faridun Suhrobovich
Муҳандиси-тарҳрезӣ Шуъбаи техникӣ	Инженер-проектировщик Технического департамента	Engineer - designer of the Technical department
ЧСК «Таджикгидроэлектромонтаж»	ОАО «Таджикгидроэлектромонтаж»	JSC «Tajikhydroelectromontazh»
E-mail: farid.mirzaev.96@bk.ru		