

УДК 625.72

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГНОСТИКИ

**А.Г. Батракова, доц., д.т.н., С.Н. Урдзик, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

***Аннотация.** Рассмотрена модель оценки состояния дорожной одежды по результатам диагностики, основу которой составляет индекс технического состояния конструкции дорожной одежды (Technical Condition Index). Разработана система количественной оценки состояния конструкции дорожной одежды по результатам диагностики и численного моделирования напряженно-деформированного состояния.*

***Ключевые слова:** дорожная одежда нежесткого типа, модель оценки, индекс технического состояния конструкции дорожной одежды, количественная оценка состояния.*

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ СТАНУ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДІАГНОСТИКИ

**А.Г. Батракова, доц., д.т.н., С.М. Урдзік, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

***Анотація.** Розглянуто модель оцінки стану дорожнього одягу за результатами діагностики, основу якої становить індекс технічного стану конструкції дорожнього одягу (Technical Condition Index). Розроблено систему кількісного оцінювання стану конструкції дорожнього одягу за результатами діагностики та чисельного моделювання напружено-деформованого стану.*

***Ключові слова:** дорожній одяг нежорсткого типу, модель оцінки, індекс технічного стану конструкції дорожнього одягу, кількісна оцінка стану.*

ASSESSMENT CRITERIA OF THE STATE OF PAVEMENT ACCORDING TO DIAGNOSTICS RESULTS

**A. Batrakova, Assoc. Prof., D. (Eng.), S. Urdzik, P. G.,
Kharkiv National Automobile and Highway University**

***Abstract.** A model of pavement state assessment according to the results of diagnostics which is based on the technical condition index of pavement (Technical Condition Index) is proposed. A system for quantitative assessment of the pavement structure condition based on the results of diagnostics and numerical modeling of the stress-strain state is developed.*

***Key words:** flexible pavement, assessment model, technical condition index, pavement structure, quantitative assessment of the state.*

Введение

Большинство методов оценки состояния дорожных одежд используют только один из критериев несущей способности дорожной одежды, а именно, жесткость всей конструкции в целом, которая оценивается по величине ее модуля упругости, что в ряде случаев

является недостаточным. Как свидетельствует опыт эксплуатации автомобильных дорог с дорожными одеждами нежесткого типа, деформации и разрушения дорожных одежд могут возникать не только по причине несоответствия критерию прочности по допускаемому упругому прогибу, но и вследствие накопления недопустимых остаточных де-

формаций в подстилающем грунте, а также развития усталостных повреждений в монолитных слоях покрытия. Исходя из изложенного, модель оценки состояния дорожной одежды должна обеспечивать возможность оценки: потребительских свойств дороги (PCI); жесткости конструкции, определяемой величиной упругого прогиба (K_E); способности конструкции сопротивляться действию сдвигающих напряжений в грунтах земляного полотна (K_τ); способности монолитных слоев конструкции сопротивляться действию растягивающих напряжений (K_σ); надежности конструкции, определяемой вариацией параметров (K_H).

Анализ публикаций

К решению задач оценки и прогнозирования состояния дорожных одежд существует два основных подхода. Первый подразумевает привлечение для количественного описания текущего состояния дорожной одежды обобщенных показателей, характеризующих состояние дорожной одежды. В качестве таких показателей могут выступать: скорость движения транспортного потока как интегральная характеристика транспортно-эксплуатационного состояния дорожной одежды (V) [1]; ровность, характеризуемая в отечественной и мировой практике международным индексом ровности (IRI) [2, 3]; транспортно-эксплуатационное состояние (ТЭС) или его количественная характеристика – индекс ТЭС автомобильной дороги (J) [4], а также в международной практике близкие по смыслу: индекс пригодности покрытия (PSI) [5]; индекс состояния покрытия (PCI) [6]. Такой подход ориентирован, преимущественно, на оценку потребительских свойств дороги, в то время как для дорожных организаций существует необходимость: расчета затрат на ремонт дорог; определения состояния дорожной сети; разработки методики сравнения дорог с различной степенью разрушений; назначения ремонтных мероприятий, адекватных состоянию конструкции дорожной одежды. То есть, помимо потребительских свойств, необходимо иметь инструмент оценки технического состояния дорожной одежды. Второй подход предполагает оценку состояния на основе оценки деформационных характеристик конструкции, получаемых по результатам диагностики [6–9]. Достоинством такого подхода является учет:

вероятностной природы факторов движения, природно-климатических, грунтово-гидрологических условий, свойств грунтов и материалов слоев дорожных одежд; критериев прочности дорожных одежд: упругого прогиба и сопротивления сдвиговым деформациям; показателей качества строительства через значения коэффициентов вариации общего модуля упругости дорожных одежд; снижения в процессе эксплуатации прочностных и деформационных характеристик материалов слоев дорожной одежды при расчете ее прочности по критериям упругого прогиба и сопротивления сдвиговым деформациям.

Цель и постановка задачи

При решении задач оценки и прогнозирования состояния дорожной одежды будем опираться на математический аппарат адаптивных динамических моделей. Введем в систему оценки вектор-функцию состояния. В эту функцию включим индекс состояния покрытия (PCI), модуль упругости всей конструкции ($E_{упр}$), растягивающие (σ_r) и сдвигающие (τ) напряжения на границах слоев. Таким образом, вектор-функция состояния Θ (для прогнозирования) может быть представлена в виде

$$\Theta = \begin{pmatrix} PCI \\ E_{упр} \\ \sigma_r \\ \tau \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Первый элемент (PCI) характеризует визуально наблюдаемое состояние покрытия и является интегральной числовой характеристикой совокупности внешних параметров, определяющих, в первую очередь, потребительские свойства дороги [2, 10, 11]. Остальные элементы являются критериями прочности конструкции дорожной одежды и характеризуют техническое состояние конструкции. Возникает необходимость подобного объединения этих параметров в единый числовой показатель для решения задач оценки состояния дорожной одежды.

Индекс технического состояния конструкции дорожной одежды

Для достижения поставленной цели следует перейти от физических (экспериментально регистрируемых) параметров к безразмер-

ным коэффициентам, отражающим состояние конструкции, и провести их нормировку. В качестве таких коэффициентов примем коэффициенты запаса прочности по допускаемому упругому прогибу, растяжению при изгибе в монолитных слоях покрытия и сдвигу в грунтах земляного полотна – K_E , K_σ и K_τ соответственно. Снабдим максимальные и минимальные значения этих коэффициентов индексами «max» и «min» соответственно. Под максимальным значением будем понимать проектные значения коэффициентов запаса прочности на момент начала эксплуатации – в момент времени $t=0$. Под минимальным значением будем понимать значение коэффициента запаса прочности, соответствующее максимально допустимой потере несущей способности конструкции дорожной одежды $K_{пр} = 0,7$ согласно [12]. Объединим показатели запаса прочности по соответствующим критериям в виде индекса технического состояния конструкции дорожной одежды TCI (Technical Condition Index). Индекс технического состояния конструкции может быть определен путем агрегации показателей состояния конструкции (координат состояния) [13] по трем критериям предельного состояния

$$TCI = 100 \frac{\sum_{i=1}^3 \alpha_i f_i}{\sum_{i=1}^3 \alpha_i}, \quad (2)$$

где α_i – весовой коэффициент i -го критерия предельного состояния; f_i – показатель состояния по i -му критерию предельного состояния конструкции.

Показатели состояния конструкции и соответствующие им весовые коэффициенты определяются

$$f_i = \frac{K_i}{K_{i_{\max}}}; \quad \alpha_i = \frac{K_{i_{\max}}}{K_{i_{\min}}}, \quad (3)$$

где $K_i, K_{i_{\max}}, K_{i_{\min}}$ – коэффициент запаса прочности по i -му критерию предельного состояния, соответственно фактический, максимальный и минимально допустимый.

Тогда индекс технического состояния конструкции дорожной одежды может быть представлен

$$TCI = 100 \left[\frac{\alpha_E f_E + \alpha_\sigma f_\sigma + \alpha_\tau f_\tau}{\alpha_E + \alpha_\sigma + \alpha_\tau} \right], \quad (4)$$

где f_E, f_σ, f_τ – показатель состояния конструкции, соответственно по критерию допускаемого упругого прогиба, критерию сопротивления монолитных слоев растяжению при изгибе и критерию сопротивления грунтов и слоев из слабо связанных материалов действию сдвигающих напряжений; $\alpha_E, \alpha_\sigma, \alpha_\tau$ – весовой коэффициент, соответственно критерия допускаемого упругого прогиба, критерия сопротивления монолитных слоев растяжению при изгибе и критерия сопротивления грунтов и слоев из слабо связанных материалов действию сдвигающих напряжений.

Вектор-функция состояния (1) может быть представлена в виде совокупности двух элементов

$$\Theta = \left[\begin{array}{c} PCI \\ TCI \end{array} \right]. \quad (5)$$

Модель (6), учитывающая потребительские свойства дороги и техническое состояние конструкции, позволяет решать задачи оценки, прогнозирования и сравнительного анализа состояния различных участков.

На основе численного моделирования напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды установлена связь индекса технического состояния конструкции (TCI) с параметрами, определяемыми по результатам диагностики (рис. 1–2), а также разработана градация технического состояния конструкции дорожной одежды для автомобильных дорог I–V категорий. Основу градации технического состояния конструкции дорожной одежды, в соответствии с нормативными документами на проектирование [12, 14], эксплуатационное содержание [15–17] и ремонт дорожных одежд нежесткого типа [15, 18, 19], а также в соответствии с научными исследованиями [20–24] и мировой практикой [2, 17, 25–27], составили следующие положения:

а) состояние конструкции дорожной одежды отличное, если допустимый уровень разрушений в процессе эксплуатации не превышает предельных значений для соответствующей категории дороги [17, 20, 28].

Коэффициенты запаса прочности дорожной одежды ($K_{пр}$) в процессе эксплуатации удовлетворяют условию:

1) для I а категории: $K_{пр} \geq 0,03K_{max}$;

2) для I б, II, III категорий: $K_{пр} \geq 0,05K_{max}$;

3) для IV категории: $K_{пр} \geq 0,10K_{max}$;

б) состояние конструкции дорожной одежды хорошее, если в процессе эксплуатации коэффициенты запаса прочности дорожной одежды ($K_{пр}$) снижены относительно проектных значений (K_{max}), соответствующих нормам на проектирование дорожных одежд [4], не более чем на 15 % [2] и удовлетворяют условию: $K_{max} \geq K_{пр} \geq 0,85K_{max}$;

в) состояние конструкции удовлетворительное, если коэффициенты запаса прочности удовлетворяют условию предельного равновесия:

1) для критериев сопротивления сдвигающим напряжениям в грунтах земляного полотна и сопротивления монолитных слоев действию растягивающих напряжений при изгибе: $0,85K_{max} > K_{пр} \geq 1,0$;

2) для критерия допускаемого упругого прогиба, в соответствии с [15], в зависимости от категории автомобильной дороги:

– для I–II категорий: $0,85K_{max} > K_{пр} \geq 0,95$;

– для III категории: $0,85K_{max} > K_{пр} \geq 0,90$;

– для IV категории: $0,85K_{max} > K_{пр} \geq 0,85$.

Под предельным равновесием понимается состояние конструкции, при котором фактические напряжения, действующие в конструкции дорожной одежды, равны предельно допустимым по условиям обеспечения прочности (сдвигу в грунтах земляного полотна, сопротивлению растяжению при изгибе);

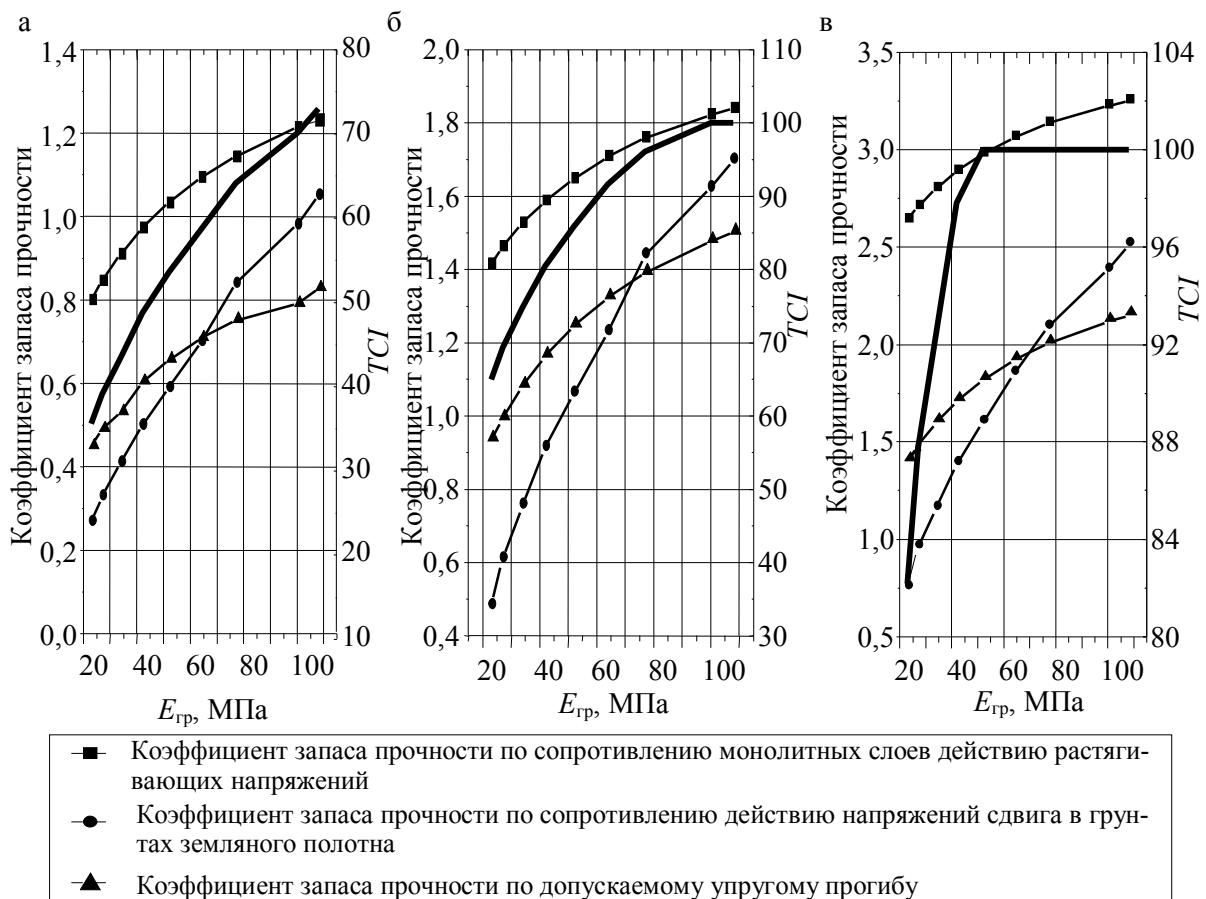


Рис. 1. Связь коэффициентов запаса прочности и индекса технического состояния конструкции дорожной одежды автомобильной дороги II категории с модулем грунта земляного полотна ($E_{гр}$) и толщиной покрытия. Модуль упругости основания – 300 МПа; толщина основания – 60 см; модуль упругости покрытия – 3200 МПа; толщина покрытия: а – 5 см; б – 15 см; в – 25 см

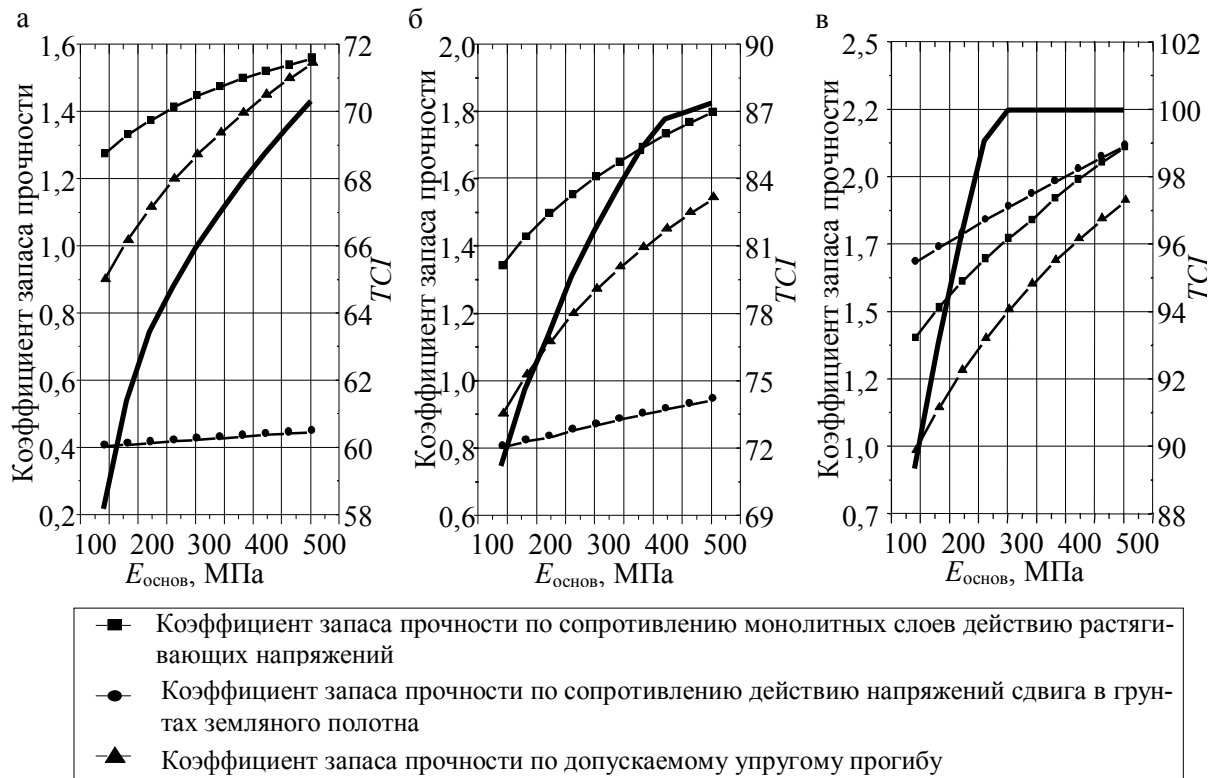


Рис. 2. Связь коэффициентов запаса прочности и индекса технического состояния конструкции дорожной одежды автомобильной дороги II категории с модулем основания и толщиной основания.

Модуль упругости грунта земляного полотна – 64 МПа; модуль упругости покрытия – 3200 МПа; толщина покрытия – 15 см; толщина основания: а – 25 см; б – 45 см; в – 75 см

г) состояние неудовлетворительное, если конструкция характеризуется значительной потерей несущей способности, то есть прочность дорожной одежды снижена не более чем на 30 % относительно состояния предельного равновесия [12];

д) конструкция характеризуется как разрушенная, требующая частичной либо полной замены [12], в случае, если $K_{пр} < 0,7$.

Взяв в (2) фактическое значение коэффициента запаса прочности по соответствующему критерию K_i равным предельному

значению $K_{пр}$ для отличного, хорошего, удовлетворительного и неудовлетворительного состояний, получим градацию состояния конструкции дорожной одежды по величине TCI (табл. 1).

Полученная градация является основой оценки состояния дорожной одежды с целью последующего планирования распределения ресурсов на проведение ремонтных работ и прогнозирования состояния конструкции дорожной одежды.

Таблица 1 Оценка технического состояния конструкции дорожной одежды

Оценка состояния	Индекс технического состояния (TCI) дорожной одежды по категориям				
	I а	I б	II	III	IV
Отлично	от 100 до 97	от 100 до 97	от 100 до 95	от 100 до 95	от 100 до 90
Хорошо	от 97 до 85	от 97 до 85	от 95 до 85	от 95 до 85	от 95 до 85
Удовлетворительно	от 85 до 67	от 85 до 69	от 85 до 69	от 85 до 72	от 85 до 72
Неудовлетворительно	от 67 до 54	от 69 до 56	от 69 до 56	от 72 до 54	от 72 до 53
Конструкция разрушена	менее 54	менее 56	менее 56	менее 54	менее 53

Выводы

Разработан теоретико-экспериментальный метод оценки текущего состояния конструкций дорожных одежд нежесткого типа по результатам диагностики, опирающийся на экспериментальные методы оценки параметров дорожных одежд и численно-аналитические методы моделирования напряженно-деформированного состояния.

Анализ влияния геометрических, физико-механических параметров конструктивных слоев дорожной одежды на напряженно-деформированное состояние дорожных одежд и соответствующие коэффициенты запаса прочности (K_E , K_τ , K_σ) позволил оценить связь между коэффициентами запаса прочности и индексом технического состояния конструкции (TCI – Technical Condition Index).

Разработана градация состояния конструкции дорожной одежды по величине TCI , что является основой для оценки и последующего прогнозирования технического состояния конструкции дорожной одежды.

Литература

1. Васильев А.П. Принципы прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния дорог / А.П. Васильев, Ю.М. Яковлев, М.С. Коганзон // Автомобильные дороги. – 1993. – № 1. – С. 8–10.
2. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys : ASTM D 6433–11. – PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 2011. – 49 p.
3. Al-Omari B. Relationships Between IRI and PSR : Interim Report / B. Al-Omari, M.I. Darter. – Illinois Department of Transportation, 1992. – 71 p.
4. Демишкан В.Ф. Совершенствование управления состоянием автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11 / Демишкан Владимир Федорович. – Харьков, 2000. – 171 с.
5. The AASHO Road Test. Report 7: Final Summary. – Washington: HRB, National Research Council, 1962. – 56 p.
6. AASHO. The AASHO road test: Special Report 61A–61G. – Highway Research Board, Washington, D.C., USA. – 1961. – 12 p.
7. Слободчиков Ю.В. Обоснование оценочных показателей выбора ремонтной стратегии автомобильных дорог с нежесткими дорожными одедами в изменяющихся условиях эксплуатации : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.11 / Слободчиков Юрий Васильевич. – Москва, 1995. – 333 с.
8. Углова Е.В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.11 / Углова Евгения Владимировна. – Ростов-на-Дону, 2009. – 371 с.
9. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу: дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.11 / Гамеляк Ігор Павлович. – Київ, 2005. – 438 с.
10. Васильев А.П. Метод комплексной оценки качества и состояния автомобильных дорог / А.П. Васильев // Автомобильные дороги. – 1989. – № 8. – С. 7–10.
11. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог: ОДН 218.0.006-2002. – [Действующий от 2002–10-03]. – М.: Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства России (Росавтодор), 2002. – 196 с. – (Отраслевые дорожные нормы).
12. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. – Чинний від 2005-01-01. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2005. – 176 с. – (Відомчі Будівельні Норми).
13. Гаврилов Э.В. Системное проектирование автомобильных дорог / Э.В. Гаврилов, А.М. Гридчин, А.М. Ряпухин. – Москва-Белгород: АСВ, 1998. – 138 с.
14. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования : ТКП 45-3.03-112-2008. – Действующий от 2008-11-19. – Минск: Министерство строительства и архитектуры, 2009. – 86 с. – (Технический кодекс установившейся практики).
15. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України : П-Г.1-218-113:2009. – Чинний від 2009-07-01. – К. : Державна служба автомобільних доріг України

- (Укравтодор), 2009. – 258 с. – (Правила).
16. Інструкція по визначенню рівнів експлуатаційного стану автомобільних доріг державного значення та їх елементів : ІН В.3.1-218-336:2010. – Чинний від 2010-01-01. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2019. – 25 с. – (Інструкція).
 17. Оценка прочности нежестких дорожных одежд : ОДН 218.1.052-2002. – Действующий от 2002-11-19. – М.: Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор), 2003. – 45 с. – (Отраслевые дорожные нормы).
 18. Організаційно-методичні, економічні і технічні нормативи. Ремонт автомобільних доріг загального користування. Види ремонтів та перелік робіт : ГБН Г.1-218-182:2011. – [Чинний від 2011-12-01]. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2011. – 13 с. – (Галузеві будівельні норми).
 19. Організаційно-методичні, економічні і технічні нормативи. Класифікація робіт з експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування : ВБН Г.1-218-530:2006. – [Чинний від 2006-04-10]. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2006. – 10 с. – (Відомчі будівельні норми).
 20. Повышение надежности автомобильных дорог / [Золотарь И.А., Некрасов В.К., Коновалов С.В. и др.]; под ред. И.А. Золотаря. – М. : Транспорт, 1977. – 183 с.
 21. Коганзон М.С. Качество и надежность дорожного строительства: учебное пособие / М.С. Коганзон, Ю.М. Яковлев. – М.: МАДИ, 1981. – 90 с.
 22. Стрижевский А.М. К вопросу об оценке прочности нежестких дорожных одежд на основе данных о состоянии дорожного покрытия / А.М. Стрижевский // Труды ГП РосдорНИИ: сб. науч. ст. – М. : ГП РосдорНИИ. – 2003. – Вып. 11. – С. 42–54.
 23. Радовский Б.С. Прогнозирование закономерностей изменения состояния дорожной одежды / Б.С. Радовский, А.В. Сердюк // Автомобильные дороги. – 1994. – № 7. – С. 19–22.
 24. Яковлев Ю.М. Оценка прочности нежестких дорожных одежд с учетом их фактического состояния / Ю.М. Яковлев // Проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог в начале 21 века: сб. науч. тр. МАДИ. – М.: МАДИ, 2000. – С. 97–103.
 25. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys : ASTM D6433 – 08. – [January 2008]. – ASTM International is a member of CrossRef, 2008. – 48 p.
 26. Flexible Pavement Design Manual: Document № 625-010-002-g. – Tallahassee, Florida : Florida Department of Transportation, 2008. – 189 p.
 27. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики: ТКП 140-2008. – Действующий от 2008-07-15. – Минск: Министерство транспорта Республики Беларусь, 2008. – 48 с. – (Технический кодекс установившейся практики).
 25. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог : ОДН 218.0.006-2002. – Действующий от 2002–10-03. – М.: Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства России (Росавтодор), 2002. – 196 с. – (Отраслевые дорожные нормы).
- Рецензент: В.К. Жданюк, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 20 марта 2015 г.