

3. Автоматизовано повідомити та викликати оперативно-рятувальні підрозділи у разі виникнення пожежі та підтримувати з ними постійний зв'язок при її гасіння;

4. Швидко та правильно довести тривожні сигнали і повідомлення про загрозу або виникнення пожежі в автоматичному режимі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Наказ Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 15.06.2006 р. №288.

2. Проект ДБН В.2.2-201Х «Системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення».

3. СОУ МНС 75.2-00013528-003:2011. Автоматизовані системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення. Типи й загальні технічні вимоги.

4. ДБН В.1.2-5:2007. «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів».

5. Розпорядження КМУ від 15.01.2014 р. №23-р «Про схвалення Концепції розвитку та технічної модернізації системи централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій».

УДК 625.72

**Батракова А.Г., Урдзик С.Н.,**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

**Батраков Д.О.**

*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина*

## ОПЕРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОРАДАРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

**Введение.** С появлением новых технических средств, а также с развитием теории и практических методов оценки состояния дорожных одежд, разработан большой арсенал оценочных показателей состояния дорожной одежды, алгоритмов и методов их расчета [1-3]. К основным показателям, характеризующим состояние дорожных одежд, относятся как измеряемые физические величины – упругий прогиб (модуль упругости), так и обобщающие характеристики – числовые индексы (индекс состояния покрытия, коэффициент обеспеченности расчетной скорости движения и др.). Кроме измеряемых показателей при проектировании и оценке состояния дорожных одежд используются производные (расчетные) показатели – растягивающие напряжения при изгибе на границах монолитных слоев, сдвигающие напряжения в слоях из несвязных материалов. Каждый набор показателей имеет свои преимущества и недостатки. Так, величина упругого прогиба под эталонной нагрузкой является

непрерывной функцией от параметров конструкции, а индексы состояния – числами, принадлежащими дискретным множествам (областям определения данного индекса). Соответственно, модуль упругости, растягивающие и сдвигающие напряжения принадлежат к классу точных показателей, а различные индексы (в силу дискретности) – к приближенным. Среди числовых индексов также существует значительное разнообразие, как по диапазону изменения значений показателя, так и по набору исходных характеристик, используемых при формировании итоговых значений показателя. Это приводит к большому разнообразию практических методик получения и обработки исходных данных. Как следствие, в разных странах используются различные системы оценки состояния покрытий [2, 4].

**Цель и задачи.** С появлением новых средств измерений возникает необходимость интеграции данных диагностики и методов их обработки в общую систему

оценки состояния покрытия. Это свидетельствует о назревшей необходимости разработки качественно новой универсальной и гибкой модели оценки состояния дорожной одежды, которая бы позволила объединить в себе достоинства различных методов и средств диагностики дорожных одежд. Кроме того, для эффективного использования возможностей современных компьютерных технологий необходима максимальная формализация применяемого математического аппарата работы с исходными данными и возможность его развития в соответствии с общими тенденциями в области численного моделирования и смежных областей науки (механики, физики твердого тела – теории упругости и др.).

**Результаты исследования.** Введем вектор-функцию состояния. В эту функцию (вектор-столбец) включим: индекс состояния покрытия (*PCI*), модуль упругости всей конструкции  $E_{упр}$ , растягивающие ( $\sigma_r$ ) и сдвигающие ( $\tau$ ) напряжения на границах слоев. Таким образом, вектор-функция состояния  $\Theta$  имеет следующий вид:

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

В (1) первый элемент (*PCI*) характеризует «видимое» состояние покрытия, а остальные элементы являются критериями прочности конструкции дорожной одежды. Подчеркнем, что эти показатели являются основой для расчета соответствующих коэффициентов запаса прочности, которые входят в набор выходных данных модели. Эти три показателя в совокупности характеризуют техническое состояние конструкции, в то время как первый элемент (1) является интегральной числовой характеристикой совокупности внешних параметров, определяющих в первую очередь потребительские свойства дороги. Естественно, возникает необходимость подобного объединения этих параметров в единый индикативный числовой показатель для оценки состояния и последующего ана-

лиза различных участков сети автомобильных дорог. Для достижения этой цели следует перейти от физических (экспериментально регистрируемых) параметров к безразмерным 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 –  $K_E$ ,  $K_\sigma$  и  $K_\tau$  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, то есть в момент времени  $t=0$ . В таком случае показатели запаса прочности по соответствующим критериям удобно объединить в виде индекса технического состояния. По аналогии с *PCI* обозначим его *TCI* (*Technical Condition Index*) – индекс технического состояния конструкции дорожной одежды. Чтобы этот индекс, как и *PCI* принимал значения от 0 до 100 его вычисление предлагается проводить по формуле:

$$TCI = 100 \cdot \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{K_E - K_{Emin}}{K_{Emax} - K_{Emin}} + \frac{K_\sigma - K_{\sigma min}}{K_{\sigma max} - K_{\sigma min}} + \frac{K_\tau - K_{\tau min}}{K_{\tau, max} - K_{\tau min}} \right) \right]. \quad (2)$$

где  $K_E$ ,  $K_{Emin}$ ,  $K_{Emax}$  – коэффициенты запаса прочности по допускаемому упругому прогибу соответственно фактический, максимальный, минимально допустимый;  $K_\sigma$ ,  $K_{\sigma min}$ ,  $K_{\sigma max}$  – коэффициенты запаса прочности по сопротивлению монолитных слоев покрытия растягивающим напряжениям соответственно фактический, максимальный, минимально допустимый;  $K_\tau$ ,  $K_{\tau min}$ ,  $K_{\tau max}$  – коэффициенты запаса прочности по сопротивлению действию сдвигающих напряжений в грунтах земляного полотна соответственно фактический, максимальный, минимально допустимый.

Тогда вектор-функция состояния (1) может быть представлена в виде сово-

купности двух элементов (оба – безразмерные числовые параметры):

$$\Theta = \left| \frac{PCI}{TCI} \right|. \quad (3)$$

Такая компактная запись является более удобной для решения задач оценки и сравнительного анализа состояния различных участков. В то же время, для назначения мероприятий по ремонту и содержанию необходима обработка именно наблюдаемых параметров, входящих в (1). Очевидно, что предлагаемая

операторная модель в силу своей универсальности и гибкости позволяет эффективно решать обе эти задачи. Анализ влияния влажности грунтов земляного полотна, толщины конструктивных слоев дорожной одежды, а также их деформационных характеристик на напряженно-деформированное состояние дорожных одежд и соответствующие коэффициенты запаса прочности ( $K_E$ ,  $K_\tau$ ,  $K_\sigma$ ), позволил установить связь между коэффициентами запаса прочности и  $TCI$  (рис. 1).

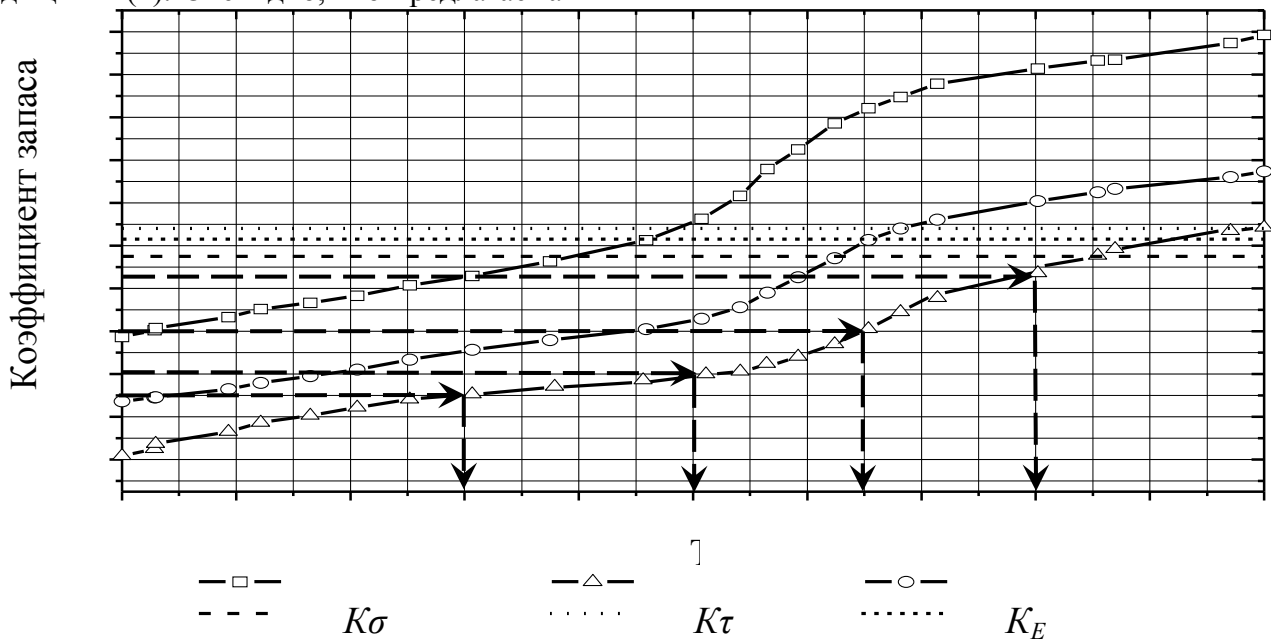


Рис. 1 - Связь индекса технического состояния конструкции с коэффициентами запаса прочности.

Основу градации технического состояния конструкции дорожной одежды в соответствии с нормативными документами [5] и научными исследованиями [6, 7, 8], составили следующие положения:

– состояние конструкции дорожной одежды отличное, если коэффициенты запаса прочности ( $K_{np}$ ) в процессе эксплуатации снижены не более чем на 15 % относительно проектных значений ( $K_{max}$ ), соответствующих нормам на проектирование дорожных одежд [5]:

$$K_{max} \geq K_{np} \geq 0,85 \cdot K_{max};$$

– состояние конструкции дорожной одежды хорошее, если коэффициенты запаса прочности удовлетворяют условию предельного равновесия:

$$0,85 \cdot K_{max} > K_{np} \geq 1,0.$$

Под предельным равновесием понимается состояние конструкции, при котором фактические напряжения от действующей нагрузки равны предельно допустимым по условиям обеспечения прочности дорожной одежды;

– состояние конструкции удовлетворительное, если прочность дорожной одежды и ровность покрытия не удовлетворяют транспортно-эксплуатационным требованиям, а коэффициент запаса прочности удовлетворяет условию  $1,0 > K_{np} \geq 0,8$ , прочность дорожной одежды снижена не более чем на 20 % относительно состояния предельного равновесия;

– состояние конструкции неудовлетворительное, если конструкция характеризуется значительной потерей несущей способности, что соответствует коэффициенту запаса прочности  $0,8 > K_{np} \geq 0,7$ ;

– конструкция характеризуется как разрушенная, требующая частичной либо полной замены в случае, если  $K_{np} < 0,7$ .

Полученная градация состояния конструкции дорожной одежды по величине *ТСІ* является основой для оценки и последующего прогнозирования технического состояния конструкции дорожной одежды (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка технического состояния конструкции дорожной одежды

Оценка состояния	Индекс технического состояния, <i>ТСІ</i>
Отлично	100 – 80
Хорошо	79 – 65
Удовлетворительно	64 – 50
Неудовлетворительно	49 – 30
Конструкция разрушена	менее 30

**Выводы.** Для формализации записи и последующей алгоритмизации многокомпонентной многокритериальной модели оценки состояния дорожных одежд предложен операторный подход, основу которого составляет новый математический объект – вектор-функция состояния, характеризующая текущее состояние дорожной одежды как функцию от набора параметров задачи (внутренние параметры, полученные в процессе георадарного обследования, а также показатели эксплуатационного и технического состояния). Для оценки состояния дорожных одежд впервые введен в рассмотрение индекс технического состояния дорожной одежды – *ТСІ* (Technical Condition Index), разработана система количественной оценки состояния конструкции дорожной одежды по величине *ТСІ*. Полученные результаты обобщены в метод

комплексной оценки состояния конструкций дорожных одежд нежесткого типа, основу которого составили результаты экспериментальных (лабораторных и полевых) исследований, а также привлечение теоретических моделей в которых соответствуют реальным условиям эксплуатации.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. *The AASHO Road Test. Report 7: Final Summary.* – Washington: HRB, National Research Council, 1962. – 56 p.
2. *Нежесткие дороги : Отчет комитета С8 [XX Всемирный дорожный конгресс].* – Монреаль : PARC-AIPCR, 1995. – 98 с.
3. Васильев А.П. *Метод комплексной оценки качества и состояния автомобильных дорог / А.П. Васильев // Автомобильные дороги.* – 1989. – № 8. – С. 7–10.
4. Durango-Cohen P. *Optimal Maintenance and Repair Policies in Infrastructure Management under Uncertain Facility Deterioration Rates: an Adaptive Control Approach / P. Durango-Cohen, S. Madanat // Transportation Research Record.* – 2002. – № 36 (9). – P. 763–778.
5. *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).
6. Радовский Б.С. *Прогнозирование закономерностей изменения состояния дорожной одежды / Б.С. Радовский, А.В. Сердюк // Автомобильные дороги.* – 1994. – № 7. – С. 19–22.
7. Слободчиков Ю.В. *Обоснование оценочных показателей выбора ремонтной стратегии автомобильных дорог с нежесткими дорожными одеждами в изменяющихся условиях эксплуатации : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.11 / Слободчиков Юрий Васильевич – Москва, 1995. – 333 с.*
8. Кизима С.С. *Исследование изменения ровности нежестких дорожных одежд в условиях УССР как показателя их качества: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Кизима Станислав Степанович – Киев, 1975. – 245 с.*