

А.Г. Батракова, С.Н. Урдзик, А.А. Пархоменко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
Харьков, Украина

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОРАДАРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Рассмотрены основные подходы к решению задач оценки текущего состояния дорожных одежд. Предложена модель оценки текущего состояния дорожных одежд с привлечением результатов георадарной диагностики.

Ключевые слова: показатели состояния дорожной одежды, внутренние и внешние параметры модели, методы подповерхностного зондирования.

A.G. Batrakova, S.N. Urdzik, A.A. Parkhomenko

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkov, Ukraine

MODEL ASSESSMENT OF CURRENT STATE THE PAVEMENT ON DIAGNOSIS RESULTS GPR

The main approaches to solving the problems of assessing the current state of pavements is discussed. A model of evaluation of the current state of the pavements, attracting GPR results diagnostics is proposed.

Keywords: pavement condition indexes, internal and external parameters of the model, methods of subsurface sensing.

Специфика обслуживания сети автомобильных дорог определяется как свойствами используемых материалов, так и значительной протяженностью объектов. Протяженность сети автомобильных дорог Украины составляет 169 495 км, в том числе 76,7 % от общей протяженности автомобильных дорог общего пользования составляют автомобильные дороги с дорожными одеждами нежесткого типа. Второй особенностью сети автомобильных дорог является устойчивая тенденция роста грузооборота, изменение состава транспортного потока в сторону увеличения доли большегрузных транспортных средств и, как следствие, увеличение нагрузок на дорожную одежду, что приводит к ухудшению транспортно-эксплуатационного состояния сети дорог. Следовательно, особую актуальность приобретают вопросы обес-

печения нормативного транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог с дорожными одеждами нежесткого типа и prolongation их срока службы до капитального ремонта. При этом номенклатура и объемы затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог лишь приближаются к нормативным требованиям. По данным Государственного агентства автомобильных дорог Украины, объем недофинансирования достигает 60 % для капитального ремонта и 30 % для текущего ремонта. Поэтому в условиях ограниченного финансирования обеспечение нормативных значений технико-эксплуатационных показателей автомобильных дорог в течение их срока службы может быть достигнуто за счет:

- применения современных методов и средств диагностики дорожных одежд, позволяющих получить наиболее полную информацию об их фактическом состоянии;

- разработки и внедрения на этой основе методов оценки состояния дорожных одежд с целью назначения ремонтных мероприятий, адекватных их фактическому состоянию, и планирования распределения финансовых и материальных ресурсов.

К решению задач оценки состояния дорожных одежд существует два основных подхода. В рамках первого подхода в качестве таких показателей могут выступать: скорость движения транспортного потока как интегральная характеристика транспортно-эксплуатационного состояния дорожной одежды [1]; ровность, характеризуемая в отечественной и мировой практике международным индексом ровности (*IRI*)¹; транспортно-эксплуатационное состояние (ТЭС) или его количественная характеристика – индекс ТЭС автомобильной дороги (*J*) [2], а также (в международной практике) близкие по смыслу: индекс пригодности покрытия (*PSI*) [3]; индекс состояния покрытия (*PCI*)². Рассмотренные показатели отражают преимущественно потребительские свойства дороги, в то время как для дорожных организаций существует необходимость: расчета расходов на содержание дорог; определения состояния дорожной сети; разработки методики сравнения дорог с различной степенью разрушений; назначения ремонтных мероприятий,

¹ Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys: ASTM D 6433–11. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States, 2011. 49 p.

² Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys: ASTM D6433–11 ASTM International is a member of CrossRef, 2008. 48 p.

адекватных состоянию конструкции дорожной одежды. Иными словами, необходимо иметь инструмент оценки технического состояния дорожной одежды.

Рассмотренные методы оценки состояния дорожной одежды опираются в основном на внешние признаки разрушения конструкции (глубина трещин, выходящих на поверхность, площадь латок, глубина колеи и т.д.). Математически этот факт можно сформулировать следующим образом:

$$F = f(d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_M), \quad (1)$$

где F – характеристика состояния покрытия (J, PSI, PCI), отражающая преимущественно потребительские свойства; d_j – внешние параметры. Количество внешних параметров для разных моделей различно. Например, для PCI оно равно 39, для PSI – 4, для J – 10 групп (в каждой от 3 до 8 параметров).

Второй подход к оценке текущего состояния дорожной одежды ориентирован на анализ интегральной характеристики (отражающей совокупность свойств всей конструкции) – модуля упругости как функции отклика конструкции дорожной одежды на внешнее воздействие и последующей проверки соответствия полученного (фактического) значения проектным данным. Отметим, что проводимые испытания не отражают в полной мере прочностное состояние конструкции (напряженно-деформированное) [4], а параметры, полученные в результате испытания конструкции [5, 6], не позволяют оценить соответствие конструкции критерию сопротивления монолитных слоев растяжению при изгибе, а также величину касательных напряжений, возникающих в слоях из несвязных материалов и грунтах земляного полотна. Неполнота информации о текущем состоянии обследуемых участков приводит к необходимости проведения достаточно сложного анализа с привлечением различных вероятностных подходов, что в конечном итоге приводит к значительным погрешностям в прогнозных оценках [7].

Эффективным потенциалом для решения данной задачи обладают методы подповерхностного зондирования и соответствующие средства (георадары). Они позволяют провести количественную оценку «скрытых» параметров, таких, например, как толщина конструктивных слоев и наличие подповерхностных дефектов – трещин, зон разуплотнения и переувлажнения. С практической точки зрения важно, что ин-

формация о внутренних параметрах конструкции дорожной одежды, определяемых по результатам георадарного обследования, позволит назначать мероприятия по устранению не только уже сформировавшихся деформаций и разрушений, но и причин их возникновения. С учетом возможности методов подповерхностного зондирования [8, 9] модель оценки текущего состояния дорожной одежды на этапе эксплуатации может быть представлена в общем виде:

$$F = f(d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_M | \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_i, \dots, \chi_N), \quad (2)$$

где d_j – внешние параметры; χ_i – внутренние (скрытые) параметры.

Под внешними параметрами модели будем понимать:

– показатели, характеризующие потребительские свойства дороги, а именно – ровность (IRI) и дефектность покрытия, оцениваемые по результатам прямых измерений величиной индекса состояния покрытия (PCI);

– прочностные и деформационные показатели состояния конструкции, оцениваемые как по результатам косвенных измерений, так и по результатам расчета напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды, – коэффициенты запаса прочности по допускаемому упругому прогибу (K_E), сдвигу в грунтах земляного полотна (K_τ), сопротивлению монолитных слоев растяжению при изгибе (K_σ).

В свою очередь показатели состояния конструкции (внешние параметры модели) определяются набором прямых параметров (внутренние параметры модели): толщиной конструктивных слоев дорожных одежд, их прочностными и деформационными характеристиками; наличием подповерхностных дефектов (трещин, участков отсутствия межслойного сцепления); прочностными и деформационными характеристиками грунтов земляного полотна, зависящими от вида грунта и его влажности.

Тогда показатели состояния конструкции могут быть представлены в виде

$$K_{E,\tau,\sigma} = f(N, E_i, h_i, D_i, E_{гр}, \varphi_{гр}, c_{гр}, R_{и}, m, T, W), \quad (3)$$

где K_E – коэффициент запаса прочности по допускаемому упругому прогибу; K_τ – коэффициент запаса прочности по сдвигу в грунтах земляного полотна и слоях из слабо связанных материалов; K_σ – коэффициент запаса прочности по растяжению при изгибе в монолитных

слоях дорожной одежды; N – интенсивность и состав транспортного потока, авт./сут; E_i – модуль упругости i -го слоя конструкции, МПа; h_i – толщина i -го слоя конструкции, см; D_i – наличие подповерхностных дефектов в i -м слое конструкции; $E_{гр}$, $\varphi_{гр}$, $c_{гр}$ – соответственно модуль упругости (МПа), угол внутреннего трения (град) и коэффициент сцепления (МПа) грунта; R_n , m – соответственно сопротивление растяжению при изгибе монолитных материалов (МПа) и показатель усталости; T , W – соответственно температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), влажность грунта земляного полотна и материалов слоев конструкции (доли единиц от влажности на границе текучести W_T).

С учетом (2), (3) модель оценки текущего состояния общего вида может быть представлена в виде:

$$F = f(PCI, K_E, K_\tau, K_\sigma, K_n | N, E_i, h_i, D_i, E_{гр}, \varphi_{гр}, c_{гр}, R_n, m, T, W), \quad (4)$$

где K_n – коэффициент надежности конструкции дорожной одежды, определяемый внутренними параметрами модели и их вариацией согласно [10].

Первым преимуществом данной модели является привлечение более полного набора данных о характеристиках элементов (слоев) конструкции дорожной одежды. В качестве внешних переменных модели используются:

- параметры, характеризующие упругие свойства конструкции дорожной одежды в целом: упругий прогиб ($l_{упр}$), вычисленное значение фактического модуля упругости ($E_{факт}$), коэффициент запаса прочности по допускаемому упругому прогибу (K_E);

- фактические значения растягивающих напряжений в монолитных слоях (σ_r), сдвигающих напряжений (τ) в грунтах земляного полотна и слоях из несвязанных материалов, а также коэффициент запаса прочности по сопротивлению растяжению при изгибе в монолитных слоях покрытия (K_σ), коэффициент запаса прочности по сдвигу в грунтах земляного полотна (K_τ).

В качестве внутренних переменных модели используются:

- первичные (электрофизические) параметры материалов конструктивных слоев дорожной одежды – диэлектрическая проницаемость (ϵ) и задержка сигнала, т.е. время прохождения сигнала через слой;

– физико-механические параметры конструктивных слоев дорожной одежды – плотность, определяющая наличие зон разуплотнения (ρ_i), а также параметры грунтов земляного полотна – влажность (W_i) в долях от влажности на границе текучести (W_T);

– геометрические параметры конструктивных слоев дорожной одежды – фактическая толщина слоев h_i ;

– неоднородность конструктивных слоев дорожной одежды, характеризующая наличием подповерхностных дефектов в слоях покрытия и укрепленных слоях основания в виде трещин высотой $h_{\text{трещ}}$ и шириной $b_{\text{трещ}}$. Кроме того, к параметрам, характеризующим неоднородность конструктивных слоев дорожной одежды, следует отнести коэффициент вариации толщины – C_{vh} [10].

Вторым преимуществом модели является возможность использования указанного набора данных при оценке фактического состояния конструкции дорожной одежды на этапе эксплуатации. Модель оценки включает как расчет коэффициента запаса прочности по допускаемому упругому прогибу на основе результатов измерений внешних параметров [11], так и расчет напряженно-деформированного состояния конструкции, исходными данными для которого являются внутренние параметры модели ($h_i, W_i, \rho_i, h_{\text{трещ}}, b_{\text{трещ}}$) [12].

Обозначим все действия в рамках предложенной схемы в виде оператора оценки состояния $\hat{A}_{\text{оц}}$. Результатом применения оператора оценки является набор показателей, характеризующих текущее состояние конструкции (коэффициент запаса прочности по допускаемому упругому прогибу, коэффициент запаса прочности по сопротивлению монолитных слоев растяжению при изгибе, коэффициент запаса прочности по сопротивлению сдвигу в грунтах земляного полотна, наличие подповерхностных дефектов в виде трещин и зон разуплотнения), – $\Phi = |\varphi_1 \dots \varphi_j|^T$.

Тогда на этапе оценки в соответствии с моделью (4) показатели определяются следующим образом:

$$\hat{A}_{\text{оц}} \left| \varepsilon_k, h_k; | W_k^{(1)}, W_k^{(2)}, D_k^{(3)} \dots \right|^T = \Phi \left| K_{\text{пр}}^E, K_{\text{пр}}^\sigma, K_{\text{пр}}^\tau, D \right|, \quad (5)$$

где $K_{np}^E, K_{np}^\sigma, K_{np}^\tau$ – соответственно коэффициенты запаса прочности по допускаемому упругому прогибу, сопротивлению монолитных слоев растяжению при изгибе, сопротивлению сдвигающим напряжениям в грунтах земляного полотна и слоях из слабо связанных материалов; D – наличие подповерхностных трещин.

Тогда модель (5) примет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{F}[s_{i=1\dots N}(t)] = \left\{ \varepsilon_{eff} \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right), h_k \right\}; \\ W_{i=1\dots N}^{(j,k)} = C_0^{(k)} + C_1^{(k)} \cdot \varepsilon_{eff} \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right) + C_2^{(k)} \cdot \varepsilon_{eff}^2 \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right) + C_3^{(k)} \cdot \varepsilon_{eff}^3 \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right); \\ W_{i=1\dots N}^{(1,k)} = \Phi^{(1)} \left[\left(\varepsilon_{eff} \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right) \right), \Delta \varepsilon_{eff} \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right), \Delta A_i(t), \Delta \alpha_i^{(k)} \right]; \\ W_{i=1\dots N}^{(2,k)} = \Phi^{(2)} \left\{ \left[\left(\varepsilon_{eff} \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right) \right), \Delta \varepsilon_{eff} \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right), \Delta A_i(t), \Delta \alpha_i^{(k)} \right], W_{i=1\dots N}^{(1,k)} \right\}; \\ \hat{A}_{ou} \left| \varepsilon_k, h_k; W_k^{(1)}, W_k^{(2)}, D_k^{(1)} \dots \right|^T = \Phi. \end{array} \right. \quad (6)$$

Первая строка в (6) отражает связь между временным распределением сигнала георадара по профилю исследуемой структуры ($s_{i=1\dots N}(t)$) и геометрическими и электрофизическими параметрами слоев дорожной одежды. Значения диэлектрической проницаемости слоев связаны с их физико-механическими характеристиками (влажность, плотность), что отражено остальными соотношениями модели. Две последние строки отражают функциональные связи между электрофизическими параметрами и искомыми значениями влажности и плотности. Наличие в аргументах функций $\varepsilon_{eff} \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right), \Delta \varepsilon_{eff} \left(W_{i=1\dots N}^{(j,k)} \right)$ полного набора всех параметров $W_{i=1\dots N}^{(j,k)}$ отражает факт связи измеряемой величины (диэлектрической проницаемости) с текущими значениями всех физико-механических характеристик (влажность, плотность). Кроме того, в правую часть последнего соотношения модели в функционал $\Phi^{(2)}$ включена величина $W_{i=1\dots N}^{(1,k)}$, чтобы подчеркнуть изменение плот-

ности, обусловленное изменением влажности, т.е. взаимосвязь параметров.

Основными параметрами дорожной конструкции, получаемыми в результате георадарного обследования после обработки георадарных данных в соответствии с (6), являются: толщина конструктивных слоев дорожной одежды; наличие подповерхностных трещин и их параметры; наличие зон разуплотнения в слоях основания; влажность грунтов земляного полотна. Тогда оценка состояния дорожной одежды сводится к расчету:

- фактического модуля упругости конструкции дорожной одежды на основании известной толщины слоев конструкции и состояния слоев;
- фактических растягивающих напряжений в монолитных слоях конструкции на основании известной толщины слоев и их дефектности;
- напряжений сдвига в грунтах земляного полотна на основании фактической влажности грунта.

Эти показатели в совокупности характеризуют техническое состояние конструкции. Естественно, возникает необходимость их объединения в единый индикативный числовой показатель, в первую очередь для удобства сравнительного анализа различных участков (секций). 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_σ и K_τ соответственно. Данные коэффициенты изменяются в определенных (различных) пределах. 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, т.е. 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 производить по формуле

$$TCI = 100 \cdot \left[\frac{1}{3} \left(\frac{K_E - K_{E\min}}{K_{E\max} - K_{E\min}} + \frac{K_\sigma - K_{\sigma\min}}{K_{\sigma\max} - K_{\sigma\min}} + \frac{K_\tau - K_{\tau\min}}{K_{\tau,\max} - K_{\tau\min}} \right) \right], \quad (7)$$

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

В качестве примера обработки данных, полученных по результатам георадарной диагностики дорожных одежд, рассмотрим оценку изменения основных показателей – фактического модуля упругости дорожной одежды $E_{\text{факт}}$, растягивающих напряжений при изгибе в монолитных слоях покрытия и напряжений сдвига в грунтах земляного полотна в зависимости от положения локального участка, т.е. текущей продольной координаты при сканировании (табл. 1).

В табл. 1 приведены показатели состояния дорожной одежды, полученные в результате георадарного обследования участка автомобильной дороги Киев – Харьков – Довжанский. Георадарная диагностика дорожной одежды проводилась на участках: км 396+700; км 397+020; км 403+000; км 416+300; км 428+500. Участки выбраны на основании визуальной оценки данных инструментальных обследований и анализа скорости развития деформаций и разрушений покрытия. Обследование проводилось как на участках, находящихся в хорошем (км 396+700; км 416+300) и удовлетворительном (км 397+020) состоянии, так и на участках, характеризующихся высокой скоростью развития деформаций и разрушений и находящихся в неудовлетворительном состоянии (км 403+000; км 428+500). Сканирование дорожной одежды проводилось как в продольном, так и в поперечном направлении. В процессе обработки результатов георадарного обследования были определены: толщина конструктивных слоев дорожной одежды; влажность грунтов земляного полотна; наличие подповерхностных дефектов (трещин) в монолитных слоях покрытия и укрепленных слоях основания.

Таблица 1

Показатели состояния конструкции

Сигнал	1-й слой асфальтобетон		2-й слой асфальтобетон		3-й слой шлак доменный		4-й слой щебень рядовой		5-й слой песок		Грунт		Модуль конструкции	Растягивающие напряжения	Сдвигающие напряжения	K _{np} (упругий прогиб)	K _{np} (растяжение)	K _{np} (сдвиг)
	Толщина, см	Модуль слоя, МПа	Толщина, см	Модуль слоя, МПа	Толщина, см	Модуль слоя, МПа	Толщина, см	Модуль слоя, МПа	Влажность, %	Модуль, МПа	Модуль, МПа	Толщина, см						
км 396+700																		
5	5,9	2400	6	2800	19	350	-	-	17	120	13,9	78	262	1,28	0,015	0,95	0,80	1,01
55	5,8		7		22				22				262	1,25		0,95	0,82	
105	6,0		8		17				18				264	1,25		0,96	0,82	
155	5,5		8		17				18				264	1,25		0,96	0,82	
205	5,0		6		17				16				260	1,28		0,95	0,8	
км 403+000																		
5	4,0	2100	5,5	1800	13	230	-	-	-	-	17,4	56	166	2,02	0,022	0,68	0,51	0,46
55	4,2		6		12				-				167	2,02		0,68	0,51	
105	4,0		6		13				-				167	2,02		0,68	0,51	
155	4,0		6		14				-				167	2,02		0,68	0,51	
205	3,8		5,0		16				-				165	2,08		0,67	0,49	
км 416+300																		
5	4,5	3200	9,6	2800	24	300	15	200	20	120	15,4	61	286	0,95	0,012	1,17	1,11	1,32
55	4,7		10		26		16		21				290	0,95		1,18	1,11	
105	5,0		10		25		15		20				288	0,95		1,17	1,11	
155	5,2		9,6		25		15		23				290	0,95		1,18	1,11	
205	4,2		8,0		27		16		21				288	1,02		1,17	1,00	

По результатам георадарного обследования определены фактический модуль упругости конструкции дорожной одежды, рассчитаны растягивающие напряжения в монолитных слоях конструкции и сдвигающие напряжения в грунтах земляного полотна; также определены коэффициенты запаса прочности по соответствующим критериям (рис. 1–3).

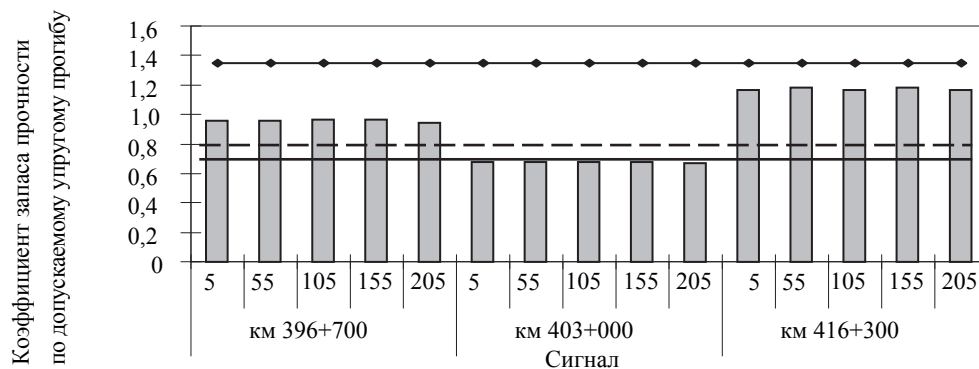


Рис. 1. Линейный график коэффициента запаса прочности по допускаемому упругому прогибу

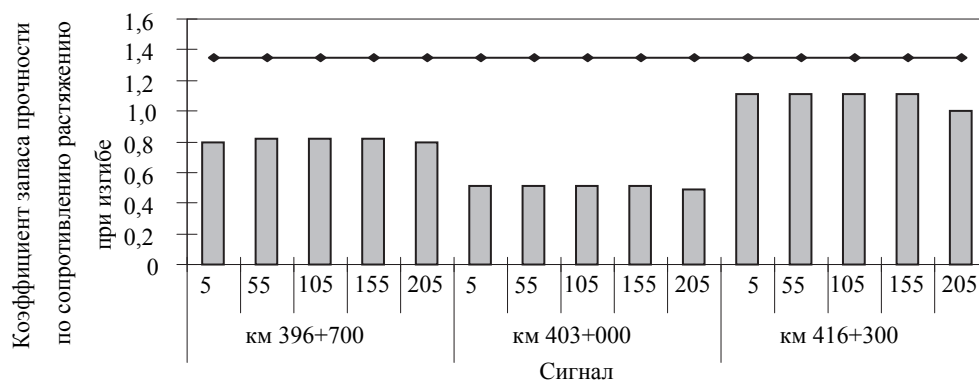


Рис. 2. Линейный график коэффициента запаса прочности по сопротивлению монолитных слоев конструкции действию растягивающих напряжений

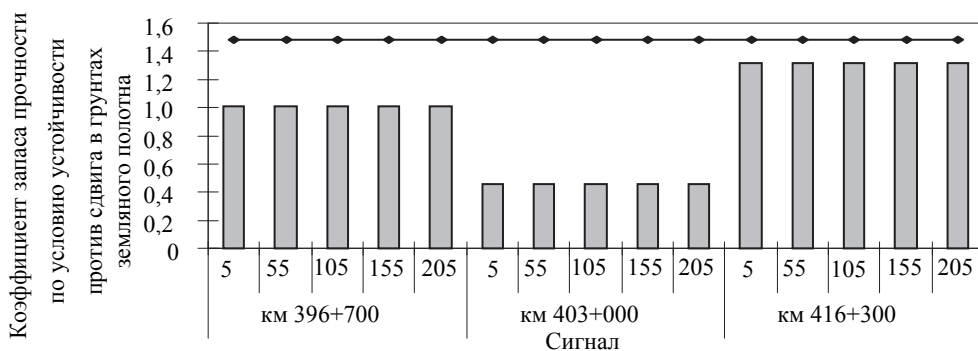


Рис. 3. Линейный график коэффициента запаса прочности по сопротивлению грунтов земляного полотна и слоев из несвязанных материалов действию сдвигающих напряжений

Оценка, проведенная с привлечением результатов георадарного обследования дорожных одежд, позволила выявить участки, находящиеся в неудовлетворительном состоянии: по допустимому упругому прогибу – км 403+00; по сопротивлению монолитных слоев растяжению при изгибе – км 396+700; км 403+00; по сопротивлению сдвигающим напряжениям в грунтах земляного полотна – км 396+700; км 403+00; км 416+300. Указанный набор показателей не учитывает наличие подповерхностных трещин в нижнем слое покрытия на участке км 416+300. При достаточно высоком значении коэффициента запаса прочности по сопротивлению растяжению при изгибе фактическое значение действующих растягивающих напряжений на участках подповерхностных трещин значительно превосходит расчетное значение. Это приводит к восходящему трещинообразованию и, как следствие, преждевременному разрушению конструкции дорожной одежды. Наличие подповерхностных трещин должно быть учтено на этапе разработки ремонтных мероприятий для данного участка дороги.

По результатам диагностики рассчитан индекс технического состояния конструкции дорожной одежды (табл. 2).

Расчеты показывают, что индекс технического состояния конструкции дорожной одежды позволяет более точно оценить ее фактическое состояние по наиболее полному (в рамках используемых моделей) набору показателей, полученных по результатам георадарного обследования. Анализ данных табл. 1, 2 и рис. 1–3 свидетельствуют о существенных различиях в значениях показателей, характеризующих прочность конструкции, даже в пределах одного поперечного профиля на участке дороги.

**Оценка индекса технического состояния конструкции
дорожной одежды**

Участок, км +	Номер отсчета	Индекс технического состояния <i>TCI</i>		Состояние покрытия по данным СУСП
		баллы	оценка	
396+700	5	29,8	удовлетворительно	хорошо
	55	30,82	удовлетворительно	хорошо
	105	31,28	удовлетворительно	хорошо
	155	31,28	удовлетворительно	хорошо
	205	29,8	удовлетворительно	хорошо
403+000	5	5,15	неудовлетворительно	удовлетворительно
	55	5,15	неудовлетворительно	удовлетворительно
	105	5,15	неудовлетворительно	удовлетворительно
	155	5,15	неудовлетворительно	удовлетворительно
	205	4,27	разрушено	удовлетворительно
416+300	5	68,98	хорошо	отлично
	55	69,44	хорошо	отлично
	105	69,98	хорошо	отлично
	155	69,44	хорошо	отлично
	205	63,34	хорошо	отлично

Следовательно, привлечение данных георадарного обследования позволяет сформировать наиболее полную оценку состояния конструкции дорожной одежды с целью обоснованного назначения мероприятий по ее ремонту и содержанию.

Список литературы

1. Васильев А.П., Яковлев Ю.М., Коганзон М.С. Принципы прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния дорог // Автомобильные дороги. – 1993. – № 1. – С. 8–10.
2. Демишкан В.Ф. Совершенствование управления состоянием автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов: дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 2000. – 171 с.
3. The AASHO Road Test. Report 7: Final Summary. – Washington: HRB, National Research Council, 1962. – 56 p.
4. Flexible Pavement Design Manual: Document № 625-010-002-g. – Tallahassee, Florida: Florida Department of Transportation, 2008. – 189 p.
5. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. – Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993. – 624 p.

6. Diefenderer B.K. Analysis of Full-Depth Reclamation Trial Sections in Virginia. – Virginia Department of Transportation: VCTIR, 2011. – 54 p.
7. Chu C.Y., Durango-Cohen P.L. Empirical Comparison of Statistical Pavement Performance Models // Journal of Infrastructure Systems. – 2008. – Vol. 14. – No 2. – P. 138–149.
8. Вопросы подповерхностной радиолокации: кол. моногр. / под ред. А.Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
9. Кулижников А.М., Шабашева М.Л. Георадары в дорожном строительстве // Автомобильные дороги: Обзорная информация. – М.: Информавтодор, 2000. – 51 с.
10. Гамеляк И.П. Основы обеспечения надежности конструкций дорожной одежды: дис. ... д-ра техн. наук. – Киев, 2005. – 438 с.
11. Flexible Pavement Design Manual: Document № 625-010-002-g. – Tallahassee, Florida: Florida Department of Transportation, 2008. – 189 p.
12. Мерзликин А.Е., Капустников Н.В. Моделирование упругого однородного и двухслойного полупространства применительно к задачам по расчету дорожных одежд методом конечных элементов [Электронный ресурс] // Дороги и мосты. – Вып. 25. – С. 63–72. – URL: <http://rosdornii.ru>.

References

1. Vasil'ev A.P., Iakovlev Iu.M., Koganzon M.S. Printsipy prognozirovaniia transportno-ekspluatatsionnogo sostoianiia dorog [Principles of forecasting of a transportation-operational road condition]. *Avtomobil'nye dorogi*, 1993, no. 1, pp. 8-10.
2. Demishkan V.F. Sovershenstvovanie upravleniia sostoianiem avtomobil'nykh dorog v usloviakh ogranichennykh resursov [Improvement of management by a condition of highways with the restricted resources]. Thesis of Doctor's degree dissertation, Kharkov, 2000, 171 p.
3. The AASHO Road Test. Report 7: Final Summary. Washington: HRB, National Research Council, 1962, 56 p.
4. Flexible Pavement Design Manual: Document № 625-010-002-g. Tallahassee, Florida: Florida Department of Transportation, 2008, 189 p.
5. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993, 624 p.
6. Diefenderer B.K. Analysis of Full-Depth Reclamation Trial Sections in Virginia. Virginia Department of Transportation: VCTIR, 2011, 54 p.

7. Chu C.Y., Durango-Cohen P.L. Empirical Comparison of Statistical Pavement Performance Models. *Journal of Infrastructure Systems*, 2008, vol. 14, no. 2, pp. 138-149.

8. Voprosy podpoverkhnostnoi radiolokatsii [Questions of the sub-surface sensing]. Ed. A.Iu. Grinev. Moscow: Radiotekhnika, 2005, 416 p.

9. Kulizhnikov A.M., Shabasheva M.L. Georadary v dorozhnom stroitel'stve [GPR in highway engineering]. *Avtomobil'nye dorogi: Obzornaya informatsiia*. Moscow: Informavtodor, 2000, 51 p.

10. Gameliak I.P. Osnovy obespecheniia nadezhnosti konstruksii dorozhnoi odezhdy [Bases of pavement maintenance reliability]. Thesis of Doctor's degree dissertation, Kiev, 2005, 438 p.

11. Flexible Pavement Design Manual: Document № 625-010-002-g. Tallahassee, Florida: Florida Department of Transportation, 2008, 189 p.

12. Merzlikin A.E., Kapustnikov N.V. Modelirovanie uprugogo odnorodnogo i dvukhsloinogo poluprostranstva primenitel'no k zadacham po raschetu dorozhnykh odezhd metodom konechnykh elementov [Modelling of elastic homogeneous and two-layer half space with reference to problems of pavements calculation by a method of finite elements]. *Dorogi i mosty*, vol. 25, pp. 63-72, available at: <http://rosdornii.ru> (accessed February 2011).

Получено 17.10.2014

Об авторах

Батракова Анжелика Геннадьевна (Харьков, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры изысканий и проектирования дорог и аэродромов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (61002, Украина, г. Харьков, ул. Петровского, 25, e-mail: agbatrt@mail.ru).

Урдзик Сергей Николаевич (Харьков, Украина) – аспирант кафедры изысканий и проектирования дорог и аэродромов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (61002, Украина, г. Харьков, ул. Петровского, 25, e-mail: urdzik@mail.ru).

Пархоменко Александр Александрович (Харьков, Украина) – студент Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (61002, Украина, г. Харьков, ул. Петровского, 25, e-mail: rp@khadi.kharkov.ua).

About the authors

Batrkova Anzhelika Gennad'evna (Kharkov, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Researches and Designing of Highways and Airports, Kharkiv National Automobile and Highway University (25, Petrovskii st., Kharkov, 61002, Ukraine, e-mail: agbatrt@mail.ru).

Urdzik Sergei Nikolaevich (Kharkov, Ukraine) – Postgraduate student, Department of Researches and Designing of Highways and Airports, Kharkiv National Automobile and Highway University (25, Petrovskii st., Kharkov, 61002, Ukraine, e-mail: urdzik@mail.ru).

Parkhomenko Aleksandr Aleksandrovich (Kharkov, Ukraine) – Student, Kharkiv National Automobile and Highway University (25, Petrovskii st., Kharkov, 61002, Ukraine, e-mail: rp@khadi.kharkov.ua).