

УДК 625.72

Батракова А.Г., д-р техн. наук

ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація Дістав подальшого розвитку інтегральний показник техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу нежорсткого типу – індекс техніко-експлуатаційного стану, який містить в собі як показники, що визначають споживчі властивості автомобільної дороги, так й показники, що визначають технічний стан конструкції дорожнього одягу. Отримано кількісні оцінки часткових індексів стану дорожнього одягу для автомобільних доріг I – III категорій.

Ключові слова: дорожній одяг, індекс техніко-експлуатаційного стану, коефіцієнт запасу міцності, рівність, коефіцієнт зчеплення

UDC 625.72

Batrakova A.G., Dr. Tech. Sci.

EVALUATION OF TECHNICAL AND OPERATIONAL PAVEMENT STATE

Abstract. Integral criterion for assessing the technical and operational condition of nonrigid pavements - Index of technical and operational condition which contains parameters that define both consumer properties of the highways, and indicators that established the technical condition of pavement structures was evolved. The quantitative evaluation of partial pavement condition indexes for highways of I - III categories are obtained.

Keywords: nonrigid pavement, index of technical and operational condition, factor of safety, friction coefficient

УДК 625.72

Батракова А.Г., д-р техн. наук

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Аннотация. Получил развитие интегральный показатель технико-эксплуатационного состояния дорожной одежды нежесткого типа – индекс технико-эксплуатационного состояния, содержащий в себе показатели, определяющие как потребительские свойства автомобильной дороги, так и показатели, определяющие техническое состояние конструкции дорожной одежды. Получены количественные оценки частных индексов состояния дорожной одежды для автомобильных дорог I – III категорий.

Ключевые слова: дорожная одежда, индекс технико-эксплуатационного состояния, коэффициент запаса прочности, ровность, коэффициент сцепления.

Вступ

В умовах обмеженого фінансування ефективність ремонтної стратегії визначається, у першу чергу, рівнем розвитку систем управління станом покриття (СУСП). Фундаментом будь-якої сучасної СУСП є моделі, методи та засоби

Introduction

In the conditions of a limited budget efficiency of repair strategy is defined, first of all, by a level of Pavement Management Systems (PMS) development. Any modern PMS based on models, methods and facilities for the solution of technical and economic

вирішення техніко-економічних завдань оцінки й прогнозування стану дорожнього одягу, а також оптимізації ресурсів на його ремонт. Тому розвиток і вдосконалення СУСП у частині розроблення й реалізації нових стратегій розподілу ресурсів на ремонт і утримання, що спрямовані на забезпечення нормативного техніко-експлуатаційного стану мережі доріг загального користування є актуальним і практично значимим завданням.

Постановка задачі

Більшість моделей управління станом покриття використовують інтегральний показник стану конструкції, який у результаті оптимізації повинен прийняти максимальне значення при обмеженнях по фінансових витратах [1]. Найбільш поширеними показниками є індекс стану покриття (*PCI*) та міжнародний індекс рівності (*IRI*). Перевагою використання таких укрупнених показників є відносно прості процедури одержання їхніх значень. З іншого боку, істотним недоліком є неможливість врахування внеску кожного параметра, у тому числі й підповерхневих дефектів, у загальну оцінку стану конструкції. Тому в рамках постановки завдання оцінки стану дорожнього одягу пропонується розвиток інтегрального показника – індексу транспортно-експлуатаційного стану (*J*), запропонованого в роботі [2]. Даний показник повинний об'єднувати як показники, що отримані за результатами візуальної оцінки стану покриття та визначають у значній мірі споживчі властивості дороги [3], так й техніко-експлуатаційні показники, що визначають технічний стан конструкції дорожнього одягу. Під технічним станом дорожнього одягу будемо розуміти здатність дорожнього одягу сприймати вплив транспортного навантаження й погоднокліматичних факторів. Під експлуатаційним станом дорожнього одягу будемо розуміти здатність дорожнього одягу забезпечувати розрахункову швидкість і безпеку руху. Тоді основними техніко-експлуатаційними показниками

problems concerning an estimation and forecasting of a condition of road pavement, and also optimization of resources for its repair and reconstruction. Therefore creation and improvement of PMS regarding development and realization of new strategy of distribution of resources on repair and maintenance, **aimed at** the ensuring of a standard technical conditions of a network of public roads is actual and very significant practical problem.

Problem statement

The majority of models for managing road pavement condition use an integrated indicator of a pavement condition which should accept a maximum value at the set of restrictions on financial expenses as a result of optimization [1]. The most widespread indicators of pavement condition are Pavement Condition Index (*PCI*) and the International Roughness Index (*IRI*). Advantages of such integrated indicators use are relatively simple procedures of acquisition of their values. On the other hand, an essential drawback is the impossibility of the account of the contribution of each parameter, including subsurface defects, in a general estimation of a pavement condition. Therefore within the framework of the problem statement of the assessment of a condition of a road pavement is proposed development of an integrated indicator - an index of a transport-operational condition (*J*), offered in the paper [2]. The above indicator should consolidate both the indicators which received by results of a visual estimation of a pavement condition and defining first of all consumer properties [3] and the technical-operational indicators which defines technical condition of the road pavement. As a technical condition of a road pavement we will introduce ability of a road pavement to perceive influence of transport loads and weather/climatic factors. As an operational condition we will introduce ability of a road pavement to provide a designed speed and traffic security. Then, the basic technical-operational indicators of a condition of a road pavement are: factor of a margin of safety ($K_{міц}$), roughness of a pavement (*S*),

стану дорожнього одягу ϵ : коефіцієнт запасу міцності ($K_{міц}$), рівність покриття (S), а також коефіцієнт зчеплення (ϕ). Для прогнозування індексу техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу та обґрунтування ремонтної стратегії необхідно оцінити характер зміни цих показників у процесі експлуатації. Для вирішення цієї задачі скористуємося підходом до оцінки міцності дорожнього одягу, що запропонований у [4]. Згідно [4] передбачається, що в процесі експлуатації верхні шари дорожнього одягу втрачають «плитний» ефект, тобто не працюють як плита на пружній основі й втрачають розподільчу здатність. Тоді відносну втрату міцності конструкції дорожнього одягу в момент часу (t) можна оцінити за коефіцієнтом втрати розподільчої здатності:

$$k = \left(E_{заг}^0 - E_{заг}^t \right) / \left(E_{заг}^0 - E_{заг}^T \right), \quad (1)$$

де $E_{заг}^0, E_{заг}^t, E_{заг}^T$ – загальний модуль пружності дорожнього одягу на початку експлуатації, у довільний момент часу t та наприкінці терміну служби відповідно, МПа.

З іншого боку, зі зміною міцності дорожнього одягу пов'язані загальні закономірності зміни рівності покриття [5, 6]. Зміна рівності покриття в часі, якщо основною причиною її погіршення є зниження загальної міцності дорожнього одягу, описується залежністю [7]:

$$S_t = S_0 + K_S \cdot \frac{\ln(1 + x \cdot t_c)}{\eta_0 \cdot x} \cdot \left[\frac{p \cdot K_t}{1 + \sqrt{2\pi} \cdot \left(\frac{h_{до} \cdot \sqrt{E_{заг}^t}}{D \cdot \sqrt{E_{зр}}} \right)} + \frac{h_{до} \cdot \rho \cdot (-\sin \phi) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)}{\cos \phi} \right], \quad (2)$$

де S_0, S_t – відповідно рівність на початку експлуатації та у момент часу t , см/км;

K_S – параметр, що характеризує зв'язок між накопиченням залишкових деформацій у ґрунті й зміною рівності покриття, см/км;

and also friction coefficient. For forecast operational condition of a road pavement and a foundation of repair strategy it is necessary to estimate character of change of these indicators while service life interval. For the solution of this problem we will take advantage of the approach to an estimation of strength of the road pavement, offered in [4]. According to [4] it is supposed that while in service road pavement top layers lose «plate» effect. It means, that pavement do not work as a slab on the elastic base and thus, lose distributing ability. Then, the relative loss of a structural strength of a road pavement at the moment of time (t) can be estimated by the factor of loss of the distributing ability:

$$k = \left(E_{заг}^0 - E_{заг}^t \right) / \left(E_{заг}^0 - E_{заг}^T \right), \quad (1)$$

where $E_{заг}^0, E_{заг}^t, E_{заг}^T$ – a general elastic modulus of a road pavement in the operation beginning; during any moment of time t and in the end of life cycle accordingly, МПа.

On the other hand, general laws of change of roughness of a pavement are connected with change of strength of a road pavement [5, 6]. Change of roughness of a pavement in time in the case, if a principal cause of its deterioration is diminution of general strength of a road pavement, is described by dependence [7]:

$$S_t = S_0 + K_S \cdot \frac{\ln(1 + x \cdot t_c)}{\eta_0 \cdot x} \cdot \left[\frac{p \cdot K_t}{1 + \sqrt{2\pi} \cdot \left(\frac{h_{до} \cdot \sqrt{E_{заг}^t}}{D \cdot \sqrt{E_{зр}}} \right)} + \frac{h_{до} \cdot \rho \cdot (-\sin \phi) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)}{\cos \phi} \right], \quad (2)$$

where S_0, S_t – accordingly roughness in the beginning of operation period and at the moment of time t , см/км;

K_S – the parameter, which characterize communication between accumulation of residual deformations in a ground and change of roughness of a pavement, см/км;

K_t – коефіцієнт, що враховує збільшення напруження в ґрунті земляного полотна в процесі експлуатації внаслідок зниження загальної міцності дорожнього одягу;

h_{do} – товщина дорожнього одягу, см;

$E'_{заг}$ – еквівалентний модуль пружності дорожнього одягу в момент часу t , МПа;

E_{ep} – модуль пружності ґрунту земляного полотна, МПа;

ρ – середня щільність матеріалу шарів дорожнього одягу, г/см³;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту земляного полотна, град.;

η_0 – коефіцієнт в'язкого опору ґрунту, МПа;

x – коефіцієнт зміни в'язкості ґрунту, с⁻¹;

t_c – сумарний час впливу транспортного навантаження за період активного накопичення залишкової деформації, с.

Зношування покриття дорожнього одягу також прийнято як критерій проведення ремонту автомобільної дороги. Гранично допустимою величиною зношування покриття вважають зниження коефіцієнта зчеплення покриття (для дорожнього одягу капітального і полегшеного типів) до величин, що допускаються за умовами безпеки руху [8]. Згідно з [9] між коефіцієнтом зчеплення й шорсткістю поверхні кочення існує зв'язок, який дозволяє оцінити зміну коефіцієнта зчеплення в процесі експлуатації:

$$T = \frac{\lg \left[\frac{1}{a_1} \Delta R \left(\frac{1}{q} - 1 \right) \right] - \lg \left[65 N_0 \left(\frac{1}{q} - b_1 \Delta R \right) \right]}{\lg q}, \quad (3)$$

де T – імовірний термін служби шорсткуватого покриття залежно від зміни його зчепних якостей, років;

a_1, b_1 – коефіцієнти, що враховують фракційний склад поверхневої обробки;

ΔR – зміна макрошорсткості за термін служби T , мм;

q – показник щорічного приросту інтенсивності руху;

N_0 – середньорічна добова інтенсивність руху розрахункових автомобілів на

K_t – the factor, which consider increasing of stress in a base layer of the road while in service due to the increasing of general strength of a road pavement;

h_{do} – a thickness of a road pavement, cm;

$E'_{заг}$ – an equivalent elastic modulus of a road pavement at the moment of time t , MPa;

E_{ep} – an elastic modulus of a ground of a road bed, MPa;

ρ – average density of a material of layers of a road pavement, g/cm³;

φ – a corner of an internal friction of a ground of a road bed, deg.;

η_0 – factor of viscosity of a ground variation, MPa;

x – factor of change of viscosity of the ground, с⁻¹;

t_c – total time of influence transport loadings during active accumulation of a residual strain, sec.

Deterioration of a road pavement also is accepted as criterion of carrying out of repair of a highway. As maximum permissible rate of deterioration of a pavement usually it is usually considered lowering of an friction coefficient of a pavement (for a road pavement of the capital and facilitated types) to the values allowed by safety conditions of movement [8]. According to [9] between friction factor and a rolling surface roughness there is the dependence, allowing to estimate friction coefficient changes while road is in service:

$$T = \frac{\lg \left[\frac{1}{a_1} \Delta R \left(\frac{1}{q} - 1 \right) \right] - \lg \left[65 N_0 \left(\frac{1}{q} - b_1 \Delta R \right) \right]}{\lg q}, \quad (3)$$

where T – possible life cycle of a rough pavement which depends on change of its friction properties, years;

a_1, b_1 – the factors considering fractional structure of a surface treatment;

ΔR – change of the macroroughnesses during life cycle T , mm;

q – an indicator of an annual gain of a traffic volume;

N_0 – a mid-annual daily traffic volume of

перший рік служби шару зносу, авт./добу.

Рішення рівняння (3) зводиться до визначення гранично допустимого зменшення макрошорсткості покриття за умовою безпеки руху. Математичні моделі, що описують зміну коефіцієнта зчеплення залежно від інтенсивності руху в часі, побудовані на незначному обсязі статистичних даних і можуть бути застосовані в досить вузьких діапазонах розрахункових навантажень, що обмежує їх застосування. Тому стосовно до постановки завдання при оцінці стану дорожнього одягу на підставі інструментальної оцінки розраховується коефіцієнт забезпечення зчіпних якостей покриття [10]:

$$K_{зчеп} = \varphi_{факт} / \varphi_n, \quad (4)$$

де $K_{зчеп}$ – коефіцієнт забезпечення зчіпних якостей покриття;
 $\varphi_{факт}, \varphi_n$ – відповідно фактичне й нормативне значення коефіцієнта зчеплення.

Тоді індекс техніко-експлуатаційного стану (J) представимо у вигляді:

$$J = \Phi \left\{ \begin{array}{l} J_E = f(K_{міц}) \\ J_S = f(\dots) \\ J_\varphi = f(K_{зчеп}) \\ \dots \\ K_{міц} = f(E_{заг}^t, E_{нотр}) \\ S = f\left(\sum_{i=1}^n h_i, E_{заг}^t, E_{зр}, \varphi_{зр}\right) \end{array} \right\}, \quad (5)$$

де J_E, J_S, J_φ – часткові індекси стану конструкції дорожнього одягу за критеріями міцності, рівності та зчеплення відповідно.

Розрахунок індексу техніко-експлуатаційного стану

Для розрахунку компонента індексу стану за критерієм міцності (J_E) скористуємося рішенням В.Д. Казарновського [4],

settlement cars for the first year of service of a wear layer, a bus / days.

The solution of the equation (3) is reduced to evaluation of maximum permissible reduction of the macro pavement coarsenesses on a movement safety conditions. The mathematical models which describes changes of the friction coefficient on dependence from a traffic volume in time, are constructed on insignificant volume of the statistical data and can be applied in relatively narrow ranges of design loads that limits their application. Therefore during problem statement for the estimation of a condition of a road pavement, on the basis of a tool investigation estimation the factor of maintenance of friction properties of a pavement is carried out by [10]:

$$K_{зчеп} = \varphi_{факт} / \varphi_n, \quad (4)$$

where $K_{зчеп}$ – factor of maintenance of friction properties of a pavement ;
 $\varphi_{факт}, \varphi_n$ – actual and standard value of an friction factor accordingly.

Then index of a technical-operational condition (J) we will present in a such a way:

$$J = \Phi \left\{ \begin{array}{l} J_E = f(K_{міц}) \\ J_S = f(\dots) \\ J_\varphi = f(K_{зчеп}) \\ \dots \\ K_{міц} = f(E_{заг}^t, E_{нотр}) \\ S = f\left(\sum_{i=1}^n h_i, E_{заг}^t, E_{зр}, \varphi_{зр}\right) \end{array} \right\}, \quad (5)$$

where J_E, J_S, J_φ – partial indexes of a condition of a design of a road pavement by strength conditions, roughness and cohesion accordingly.

Calculation of an index of a technical-operational condition

For calculation of components of an index of a condition relatively to the strength

враховуючи коефіцієнт втрати розподільчої здатності (1). Тоді індекс стану конструкції за критерієм міцності може бути представлений:

$$J_{np} = \left(1 - \frac{E_{o\sigma}^{t=0} - E_{o\sigma}^t}{E_{o\sigma}^{t=0} - E_{o\sigma}^{t=T}} \right) \cdot 100\%. \quad (6)$$

Загальний модуль пружності дорожнього одягу в момент часу t ($E_{o\sigma}^t$), визначається:

$$E_{o\sigma}^t = 98,65 \cdot \left(N_{\Sigma} - N_{\Sigma t} \right) \cdot a, \quad (7)$$

де $N_{\Sigma}, N_{\Sigma t}$ – загальна кількість прикладань розрахункового навантаження за строк експлуатації та за строк t відповідно, авт.;
 a – коефіцієнт, що залежить від типу розрахункового навантаження (для А1: $a = 3,20$; для А2: $a = 3,55$).

За результатами розрахунків встановлена градація індексу стану за критерієм втрати розподільчої здатності покриття [11].

Для розрахунку компонента індексу стану за критерієм поздовжньої рівності (J_s) використовуємо рішення, що узагальнює залежності швидкості руху транспортного потоку від рівності та від ступеня деформування асфальтобетонного покриття [12]:

$$S^t = \frac{1}{\eta} \cdot \left(m - \frac{1}{a + b \cdot r} \right), \quad (8)$$

де S^t – показник рівності покриття за поштовхоміром, см/км;
 m, a – емпіричні параметри, що враховують вплив початкової рівності покриття на швидкість руху транспортного потоку, ($m = 86,14$; $a = 0,0125$);
 η, b – емпіричні коефіцієнти, що впливають відповідно на швидкість руху й динаміку зміни рівності покриття залежно від імовірності пошкодження покриття (r), ($\eta = 0,123$; $b = 0,045$).

condition (J_E) we will take advantage of V.D. Kazarnovsky [4] solution, considering factor of loss of distributing ability (1). Then the index of a condition of a design, related to the strength condition can be presented:

$$J_{np} = \left(1 - \frac{E_{o\sigma}^{t=0} - E_{o\sigma}^t}{E_{o\sigma}^{t=0} - E_{o\sigma}^{t=T}} \right) \cdot 100\%. \quad (6)$$

The general elastic modulus of a road pavement in the moment of the time t ($E_{o\sigma}^t$), is defined as:

$$E_{o\sigma}^t = 98,65 \cdot \left(N_{\Sigma} - N_{\Sigma t} \right) \cdot a, \quad (7)$$

where $N_{\Sigma}, N_{\Sigma t}$ – total amount of appendices of standard load for term of operation and for term t accordingly, veh.;
 a – the factor depending on a type of standard load (for А1: $a = 3,20$; for А2: $a = 3,55$).

By results of calculations the gradation of an index of a condition by criterion of loss of distributing ability of a pavement [11] is established.

For calculation components of condition index by criterion of longitudinal roughness (J_s) we use the solution which generalize dependencies of speed of movement of a traffic stream from roughness and from degree of a deformation of the asphalt pavement [12]:

$$S^t = \frac{1}{\eta} \cdot \left(m - \frac{1}{a + b \cdot r} \right), \quad (8)$$

where S^t – indicator of longitudinal roughness of a pavement by bumpometer, cm/km;
 m, a – empirical parameters which corrects influence of initial roughness of a pavement on speed of movement of a traffic stream, ($m = 86,14$; $a = 0,0125$);
 η, b – empirical factors which influence accordingly for speed of movement and dynamics of change of roughness of a pavement on depend of probability of damage

Використовуючи залежність імовірності пошкодження покриття (r) від коефіцієнту запасу міцності конструкції за допустимим пружним прогином [12], запишемо частковий індекс стану конструкції дорожнього одягу за критерієм рівності у вигляді:

$$J_s = \left(1 - \frac{S^t - S^{t=0}}{S_{об}^{t=T} - S_{об}^{t=0}} \right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

де $S^{t=0}$ – поздовжня рівність покриття при при здачі в експлуатацію, см/км, таблиця 1;

$S^{t=T}$ – гранично допустима поздовжня рівність покриття за критерієм мінімуму сумарних наведених витрат на перевезення вантажів і ремонти дорожніх покриттів [13].

Враховуючи вимоги до рівності покриття за умовою безпеки руху (таблиця 1), запишемо коефіцієнт рівності покриття:

$$K_s = S^{\overline{без}} / S^t, \quad (10)$$

де $S^{\overline{без}}$ – гранично допустима рівність покриття за умовою безпеки руху, см/км.

Таблиця 1 – Нормативні значення рівності покриття [14]

Показники рівності	Категорія дороги		
	I	II	III
Рівність покриття при здачі дороги в експлуатацію $S^{t=0}$:			
– без поверхневої обробки, см/км;	40	45	50
– з поверхневою обробкою, см/км.	45	50	70
Гранична рівність покриття за умовою безпеки руху, $S^{\overline{без}}$, см/км	90	100	130

of a pavement (r), ($\eta = 0,123$; $b = 0,045$).

Using dependence of probability of damage of pavement (r) from safety factor of the design on admissible elastic deflection [12], we will write down partial condition index of road pavement design by criterion of roughness in such form:

$$J_s = \left(1 - \frac{S^t - S^{t=0}}{S_{об}^{t=T} - S_{об}^{t=0}} \right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

where $S^{t=0}$ – longitudinal roughness of pavement immediately after put in commission, cm/km, table 1;

$S^{t=T}$ – maximum permissible longitudinal roughness of pavement by criterion of minimum of the total resulted expenses for transportation and repairs of road pavements [13].

Considering requirements to roughness of a pavement on a safety conditions movements (table 1), we will write down factor of roughness of a pavement:

$$K_s = S^{\overline{без}} / S^t, \quad (10)$$

where $S^{\overline{без}}$ – maximum permissible roughness of a pavement on a movement safety conditions, cm /km.

Table 1 – Standard values of roughness of a pavement [14]

Roughness indicators	Roads category		
	I	II	III
Roughness of a pavement immediately after put in commission $S^{t=0}$:			
– without a surface treatment, cm km;	40	45	50
– with a surface treatment, cm/km.	45	50	70
Maximum roughness of a pavement on a movement safety conditions, $S^{\overline{без}}$, cm/km.	90	100	130

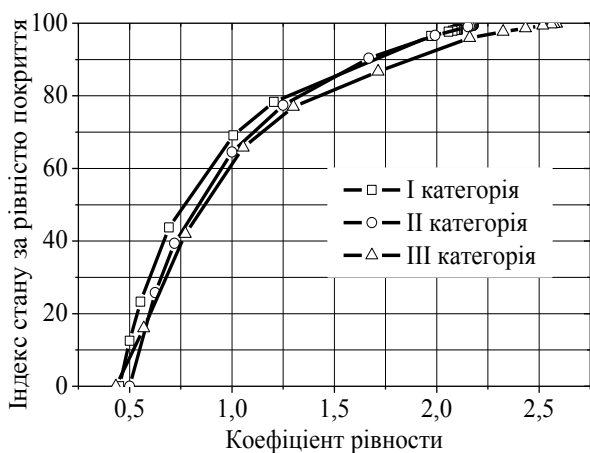


Рисунок 1 – Зв'язок коефіцієнта рівності покриття з індексом стану

Використання залежностей (9, 10) дозволяє встановити зв'язок між коефіцієнтом рівності та індексом стану покриття за критерієм рівності (рисунок 1) та отримати кількісну оцінку індексу стану дорожнього одягу за критерієм поздовжньої рівності (таблиця 2).

Як було відзначено раніше, третім фактором,

що визначає техніко-експлуатаційний стан дорожнього одягу, прийнятий коефіцієнт зчеплення. Він нормується за умовою безпеки руху й становить понад 0,35 для легких, 0,40 – для складних, 0,45 – для небезпечних умов руху. Його нормативні значення повинні бути забезпечені протягом терміну служби дорожнього одягу. Відзначимо також, що закономірності зміни коефіцієнта зчеплення в процесі експлуатації залежать від багатьох факторів, що ускладнює градацію індексу стану по п'ятибальній шкалі. Тому приймаємо значення індексу стану покриття за коефіцієнтом зчеплення:

- при забезпеченому коефіцієнті зчеплення ($\varphi \geq (0,35; 0,40; 0,45)$) $J_\varphi = 100$;
- при незабезпеченому коефіцієнті зчеплення ($\varphi < (0,35; 0,40; 0,45)$) $J_\varphi = 0$.

Тоді індекс техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу може бути розрахований:

$$J_\Sigma = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot J_i / \sum_{i=1}^m \alpha_i, \quad (11)$$

де m – загальна кількість часткових індексів стану дорожнього одягу;

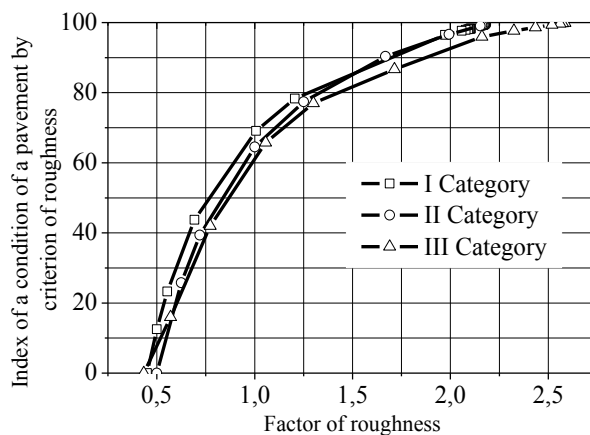


Figure 1 – Relation between factor of roughness of a pavement with a condition index

Taking advantages of dependences (9, 10) allows to establish relation between factor of roughness and index of a condition of a pavement by criterion of roughness (Figure 1) and to receive a quantitative estimation of an index of a condition of road pavement by criterion of longitudinal roughness (table 2).

As it has been noted earlier, the third factor defining a technical-operational condition of a road pavement, accepts friction factor. It is normalized on a safety conditions of movement and makes from above 0,35 for good, 0,40 - for difficult, 0,45 - for dangerous traffic conditions. Its standard values should be provided throughout road pavement life cycle. We will notice also that laws of friction coefficient change while in service depend on many factors that complicates gradation of condition index on a five-point scale. Therefore we accept value of condition index by friction factor:

- at the provided friction factor ($\varphi \geq (0,35; 0,40; 0,45)$) $J_\varphi = 100$;
- at a poor friction factor ($\varphi < (0,35; 0,40; 0,45)$) $J_\varphi = 0$.

Then the index of a technical-operational condition of a road pavement can be calculated:

$$J_\Sigma = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot J_i / \sum_{i=1}^m \alpha_i, \quad (11)$$

where m – total amount of partial indexes of a condition of a road pavement;

α_i – ваговий коефіцієнт i -го часткового індексу стану дорожнього одягу;

J_i – частковий індекс стану дорожнього одягу.

α_i – weight factor of i -th partial condition index of a road pavement;

J_i – partial condition index of pavement.

Таблиця 2 – Індекс стану за критерієм рівності покриття

Категорія дороги	Коефіцієнт рівності	Індекс стану J_s	Оцінка стану покриття
I	понад 1,8	100	відмінно
	від 1,8 до 1,125	99 – 75	добре
	від 1,124 до 1,0	74 – 69	задовільно
	від 1,0 до 0,45	68 – 0	незадовільно
II	понад 2,0	100	відмінно
	від 2,0 до 1,11	99 – 72	добре
	від 1,10 до 1,0	70 – 65	задовільно
	від 1,0 до 0,50	64 – 0	незадовільно
III	понад 2,6	100	відмінно
	від 2,6 до 1,30	99 – 77	добре
	від 1,30 до 1,0	76 – 62	задовільно
	від 1,0 до 0,43	61 – 0	незадовільно
	менше 0,43	менше 0	зруйновано

Table 2 – A condition Index by criterion of roughness of a pavement

Roads category	Factor Roughness	Index of condition J_s	Estimation of a condition of a pavement
I	from above 1,8	100	perfectly
	from 1,8 to 1,125	99 – 75	well
	from 1,124 to 1,0	74 – 69	satisfactorily
	from 1,0 to 0,45	68 – 0	unsatisfactorily
II	it is less than 0,45	it is less 0	it is destroyed
	from above 2,0	100	perfectly
	from 2,0 to 1,11	99 – 72	well
	from 1,10 to 1,0	70 – 65	satisfactorily
III	from 1,0 to 0,50	64 – 0	unsatisfactorily
	it is less 0,50	it is less 0	it is destroyed
	from above 2,6	100	perfectly
	from 2,6 to 1,30	99 – 77	well
III	from 1,30 to 1,0	76 – 62	satisfactorily
	from 1,0 to 0,43	61 – 0	unsatisfactorily
	it is less 0,43	it is less 0	it is destroyed

Висновки

Дістала подальшого розвитку модель оцінки поточного стану дорожнього одягу за індексом техніко-експлуатаційного стану, що враховує показники міцності дорожнього одягу, поздовжньої рівності покриття та коефіцієнта зчеплення та дозволяє надати кількісну оцінку стану дорожнього одягу за результатами інструментальної та візуальної оцінки. Сукупність результатів, що наведені в роботі, складають основу прогнозування стану дорожнього одягу на мережі автомобільних доріг з метою розподілу ресурсів на ремонт та утримання.

Література

1. Lamptey G. Life Cycle Cost Analysis for INDOT Pavement Design Procedures / G. Lamptey, M. Ahmad, S. Labi, K.C. Sinha // Final Report FHWA/IN/JTRP-2004/28. – Lafayette, Indiana : Purdue University, 2005. – 57 p.
2. Демишкан В. Ф. Совершенствование управления состоянием автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11 / Демишкан Владимир Федорович. –

Conclusions

It has had the further development a model of estimation of the current condition of road pavements in accordance with index of a technical-operational condition which take into account indicators of strength of a road pavement, longitudinal roughness of a pavement and friction factor. That allows establish quantitative estimation of road pavement condition by results of instrumental evaluation and visual estimation. Set of results which are reported form basis for road pavement condition forecasting on a network level for the distribution of resources to its repair and the maintenance.

References

1. Lamptey G. Life Cycle Cost Analysis for INDOT Pavement Design Procedures / G. Lamptey, M. Ahmad, S. Labi, K.C. Sinha // Final Report FHWA/IN/JTRP-2004/28. – Lafayette, Indiana: Purdue University, 2005. – 57 p.
2. Demishkan V. F. Perfection of steering by a condition of highways in the conditions of restrained resources: дис. ... Cand.Tech.Sci.: 05.22.11 / Demishkan Vladimir Fedorovich. –

Харьков, 2000. – 171 с.

3. Споживчі властивості автомобільних доріг загального користування: СОУ 45.2-00018112-077:2012. – К.: Мінрегіон, 2012. – 76 с. – (Стандарт організації України).
4. Казарновский В.Д. К вопросу о методике расчета усиления дорожных одежд / В.Д. Казарновский, И.В. Лейтланд, М.Л. Попов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2004. – № 1. – С. 33–34.
5. Бируля А. К. Работоспособность дорожных одежд / А.К. Бируля, С.И. Михович. – М.: Транспорт, 1968. – 172 с.
6. Апестин В.К. Определение фактических модулей упругости нежестких дорожных одежд с использованием результатов визуальной оценки состояния покрытия / В. К. Апестин // Дороги и мосты. – 2006. – Вып. 16/2. – С. 47–50.
7. Бусел А.В. Ремонт автомобильных дорог: Учеб. пособие / А.В. Бусел. – Минск: Арт. Дизайн, 2004. – 208 с.
8. Апестин В.К. Новые нормы межремонтных сроков службы дорожных одежд и покрытий / В.К. Апестин, В.М. Стрижевский // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 2. – С. 6–9.
9. Немчинов М. В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей / М.В. Немчинов. – М.: Транспорт, 1985 – 231 с.
10. Васильев А.П., Апестин А.К. Ремонт и содержание автомобильных дорог : учеб. издание / А.П. Васильев, А.К. Апестин. – М.: МАДИ(ТУ), 2009. – 65 с.
11. Батракова А.Г. Оценка состояния дорожных одежд в задачах превентивного обслуживания / А. Г. Батракова, И.Б. Галащук, С. М. Урдзік // Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, (Харків, 12-13 листопада 2013 р.). – Х.: ХНАДУ, 2013. – С. 8–12.
12. 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.
13. Слободчиков Ю. В. Обоснование оценочных показателей выбора ремонтной

Kharkov, 2000. - 171 p.

3. Consumer properties of public roads: SOU 45.2-00018112-077:2012. - K: MinRegion Ukraine, 2012. - 76 p. - (The Standard Ukraine Organization).
4. Kazarnovsky V.D. To a question on a design procedure of strengthening of road pavements / V.D. Kazarnovsky, I.V. Lejtland, M.L. Popov// the Science and technics in road branch. - 2004. - № 1. - P. 33-34.
5. Birulja A.K. The efficiency of road pavement / A.K.Birulja, S.I.Mihovich. - M: Transport, 1968. - 172 p.
6. Apestin V. K. Definition of actual elastic moduluses of nonrigid road pavements with use of results of a visual estimation of a condition of pavement / V.K. Apestin //Roads and bridges. - 2006. - Vyp. 16/2. - P. 47-50.
7. Busel A.V. Repair of highways: Studies. The Textbook / A.V. Busel. - Minsk: Art. Design, 2004. - 208 p.
8. Apestin V. K. New size standards of reserve maintenance periods of service of road clothes and pavements / V.K. Apestin, V.M. Strizhevsky // the Science and techniques in road branch. - 2008. - № 2. - P. 6-9.
9. Nemchinov M.V. Friction quality of road surfaces and car traffic safety / M.V. Nemchinov. - M: Transport, 1985 - 231 p.
10. Vasilev A.P. Repair and the maintenance of highways: Textbook. edition / A.P. Vasilev, A.K. Apestin. - M: MADИ (THAT), 2009. - 65 p.
11. Batrakova A.G. Estimation of condition of road pavements in problems of preventive service / A. G. Batrakova, I.B. Galashchuk, S.M. Urdzik // Modern technologies of construction and operation of highways: Proceedings of the International Scientific Conference, (Kharkiv, 12-13 November 2013). - X: KhNARU, 2013. - P. 8-12.
12. Increase of reliability of highways / [Zolotar I. A, Nekrasov V. K, Konovalov S. V, et al.]; under the editorship of I.A. Zolotarja. - M: Transport, 1977. - 183 p.
13. Slobodchikov J.V. Justification of estimation indicators of a choice of repair strategy of highways with nonrigid road pavements in changing service conditions: Thesis. ... Doct. Techn. Sciences: 05.23.11 /

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.

14. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану : ДСТУ 3587-97. – К. : Держстандарт України, 1997. – 23 с. – (Державний Стандарт України).

Slobodchikov Jury Vasilevich - Moscow, 1995. - 333 p.

14. Traffic safety. Highways, streets and railway crossings. Requirements to an operational condition: DSTU 3587-97. - K: State Standard Ukraine, 1997. - 23 p. - (State standard of Ukraine).

Рецензенти:

Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Кіашко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:

Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **27.09.2016 р.**