

**А.Г.Батракова**  
**Харківський національний автомобільно-дорожній університет**  
**ДІАГНОСТИКА ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОРАДАРНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**

*Розглянуто загальні тенденції розвитку моделей оцінки стану дорожнього одягу за результатами діагностики та запропоновано модель оцінки техніко-експлуатаційного стану дорожніх одягів на основі результатів георадарної діагностики. Розроблено схему моніторингу стану дорожнього одягу із застосуванням георадарних технологій та структуру баз даних, що містять інформацію про техніко-експлуатаційний стан дорожнього одягу.*

**Ключові слова:** дорожній одяг нежорсткого типу, діагностика дорожнього одягу, техніко-експлуатаційний стан, георадарні технології, система моніторингу дорожнього одягу.

*Рис. 3. Форм 4. Літ. 17.*

**А.Г.Батракова**  
**ДІАГНОСТИКА ДОРОЖНІХ ОДЕЖД С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОРАДАРНЫХ**  
**ТЕХНОЛОГИЙ**

*Рассмотрены общие тенденции развития моделей оценки состояния дорожной одежды по результатам диагностики, предложена модель оценки технико-эксплуатационного состояния дорожных одежд на основе результатов георадарной диагностики. Разработана схема мониторинга состояния дорожной одежды с применением георадарных технологий и структура базы данных, содержащей информацию о технико-эксплуатационном состоянии дорожной одежды.*

**Ключевые слова:** дорожная одежда нежесткого типа, диагностика дорожной одежды, технико-эксплуатационное состояние, георадарные технологии, система мониторинга дорожной одежды.

**A.Batrakova**  
**DIAGNOSTIC OF PAVEMENTS VIA GEORADAR TECHNOLOGIES**

*Problem of maintenance optimization and ensuring of standard technical parameters of a condition of pavements during service life correlate with development nonrigid type pavements monitoring system, a heading of georadar diagnostic system, new methods of an estimation and forecasting as scientific basis of appointment of repair actions. The developed model of the pavement condition estimation supplement with internal parameters, such as: geometrical – a thickness of constructive layers of a pavement; physicomaterial – humidity of soils of a roadbed; inhomogeneity – presence of zones of change of density in the strengthened layers of the base, the subsurface cracks in the monolithic surface courses. The model allows one to estimate safety factor on an elastic bending flexure, on shearing strength in soils of a roadbed and to tensile strength at a bend in the monolithic surface courses. Model basis are results of georadar diagnostic study of pavements which allow to size up strength properties and a deformation condition of pavement design. Generalization theoretical and experimental researches has allowed to develop the general design of monitoring of a pavement with use of the georadar which basis forms new models and facilities of reception of the information concerning condition of pavements, methods of an estimation of an actual state, and also model of forecasting of a condition of the pavements, leaning against the fullest data sets and possibilities of georadars. The concept of the database containing the information on a technical condition of a pavement is offered.*

**Keywords:** pavement of nonrigid type, pavement diagnostic, a technical condition, georadar technologies, system of pavement monitoring.

**Постановка проблеми**

Ефективність ремонтної стратегії визначається, насамперед, вірогідністю оцінки й прогнозування стану дорожніх одягів як найбільш матеріалоемної конструкції автомобільної дороги. У свою чергу, точність оцінки фактичного стану дорожнього одягу, забезпечується повнотою наборів даних про його стан, що дозволяє оцінити як деформаційні, так і міцнісні показники конструкції. Багаторічні спостереження свідчать, що деформаційні та міцнісні показники дорожнього одягу можуть суттєво змінюватися навіть на незначних за довжиною ділянках доріг, що пов'язане як зі зміною водно-теплового режиму земляного полотна, неоднорідністю геометричних і фізико-механічних параметрів шарів дорожнього одягу, так й локальними порушеннями технологічних режимів. Прогнозні оцінки терміну служби таких конструкцій значно розрізняються. Це ускладнює використання результатів обстежень автомобільних доріг і перешкоджає розробці рекомендацій із проектування ремонтних заходів. Отже, найбільш повна оцінка стану дорожніх одягів може бути отримана тільки за результатами безперервного обстеження в реальному масштабі часу. Вирішення зазначених

©А.Г.Батракова

задач зв'язується з удосконаленням системи моніторингу дорожніх одягів нежорсткого типу, впровадженням ефективних засобів і технологій діагностики, методів оцінки та прогнозування стану дорожніх одягів, як наукової основи призначення ремонтних заходів. Аналіз тенденцій розвитку та можливостей різних методів і технічних засобів діагностики стану дорожніх одягів свідчить про переваги (універсальність, можливість обстеження великих ділянок) групи хвильових методів. Найбільший потенціал для оцінки поточного стану дорожніх одягів мають георадари, які можуть бути застосовані як самостійно, так і в комбінації з іншими технічними засобами діагностики дорожніх одягів. Потенційні можливості сучасних георадіолокаційних систем для оцінки стану дорожніх одягів на даний час реалізовані не повною мірою. З технічної точки зору застосування георадарів при діагностиці дорожнього одягу обумовлене можливістю їх використання для визначення кількості конструктивних шарів дорожнього одягу; оцінки товщини конструктивних шарів дорожнього одягу; позиціонування підповерхневих дефектів у вигляді тріщин в нижніх шарах покриття та зміцнених шарах основи, зон надмірного зволоження.

### **Загальні тенденції розвитку методів оцінки стану дорожніх одягів за результатами діагностики**

Оцінка поточного стану конструкцій дорожнього одягу є початковим етапом практично будь-яких заходів з ремонту та утримання автомобільних доріг. Контроль стану дорожнього одягу повинний проводитися як у процесі будівництва або реконструкції (для визначення початкових споживчих властивостей дороги) так й при експлуатації (для призначення заходів з ремонту та утримання). До рішення цих завдань існує два основні підходи. Перший залучає для кількісного опису поточного стану дорожнього одягу узагальнені показники, які характеризують стан дорожнього одягу. Цей підхід орієнтований, у першу чергу, на оцінку споживчих властивостей дороги. Другий підхід припускає оцінку стану на основі деформаційних характеристик, що одержувані за допомогою вимірювання пружного прогину.

У рамках першого підходу такими показниками є: швидкість руху транспортного потоку як інтегральна характеристика транспортно-експлуатаційного стану дорожнього одягу ( $V$ ) [1]; рівність, яка характеризується у вітчизняній і світовій практиці міжнародним індексом рівності ( $IRI$ ) [2, 3]; транспортно-експлуатаційний стан ( $TEC$ ) або його кількісна характеристика – індекс  $TEC$  автомобільної дороги ( $J$ ) [4, 5], а також (у міжнародній практиці) близькі за змістом індекс придатності покриття (Present Serviceability Index -  $PSI$ ) [6, 7] та індекс стану покриття (Pavement Condition Index -  $PCI$ ).

Розуміння причин, у силу яких одні покриття служать довше, чим інші, є основною розробки ефективних і оптимальних конструкцій дорожніх одягів [8]. Відповідно до цієї концепції  $PSI$  є основою для прогнозування залишкового терміну служби дорожнього покриття й розробки методів проектування дорожніх одягів [8, 9]. Разом з тим,  $PSI$  відображує споживчі властивості дороги, у той час як для дорожніх організацій існує потреба: у розрахунку витрат на ремонт та утримання автомобільних доріг; у визначенні стану дорожньої мережі; у розробці методики порівняння доріг з різним ступенем руйнувань; у призначенні заходів з ремонту та утримання, які є адекватними фактичному стану конструкції дорожнього одягу. Тобто крім споживчих властивостей необхідно мати інструмент оцінки технічного стану дорожнього одягу. Для рішення цих завдань стандартом [10] в 1993 році був уведений індекс стану покриття ( $PCI$ ).

Загальним недоліком усіх розглянутих моделей є обмежений набір вхідних даних (пояснюючих змінних). Крім того, розглянуті методи оцінки стану дорожнього одягу спираються в основному на зовнішні ознаки руйнування конструкції (глибина тріщин, що виходять на поверхню, площу латок, глибина колії тощо). Математично цей факт можна сформулювати в такий спосіб:

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

де:  $F$  – характеристика стану покриття ( $J$ ,  $PSI$ ,  $PCI$ ), що відображує, переважно, споживчі властивості;

$d_j$  – зовнішні параметри.

Кількість зовнішніх параметрів для різних моделей різна. Наприклад, для *PCI* кількість зовнішніх параметрів дорівнює тридцять дев'ять, для *PSI* – чотири, для *J* – десять груп (у кожній від трьох до восьми параметрів) [4].

Другий підхід до оцінки поточного стану орієнтований на аналіз інтегральної характеристики, що відображує сукупність властивостей усієї конструкції – модуля пружності як функції відгуку конструкції дорожнього одягу на зовнішній вплив, і наступної перевірки відповідності отриманого (фактичного) значення проектним даним [11, 12]. Відзначимо, що проведені випробування не відображують повною мірою міцнісний стан конструкції (напружено-деформований) [13], а параметри для оцінки, які отримані за результатами випробування конструкції [14, 15], не дозволяють оцінити відповідність конструкції критерію опору монолітних шарів розтягу при згині, а також величину дотичних напружень, що виникають у шарах з незв'язних матеріалів і ґрунтах земляного полотна (таблиця 1).

Таблиця 1

Оцінка техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу

Параметр	Показник стану	Вихідні дані		Кількісна оцінка
		необхідні для оцінки стану	вимірювані при діагностиці	
<b>Технічний стан</b>				
Загальний модуль пружності конструкції $E_{заг}$	Коефіцієнт запасу міцності за допустимим пружним прогином $K_E$	пружний прогин $l_y$	пружний прогин $l_y$	Розрахунок за пружним прогином
Активне напруження опору зсуву в шарах із слабо зв'язаних матеріалів і ґрунтах земляного полотна $\tau_a$	Коефіцієнт запасу міцності по зсуву в ґрунтах земляного полотна й шарах із слабо зв'язаних матеріалів $K_\tau$	товщина шарів конструкції $h_i$	відбір кернів з конструкції вибірково	Не визначається
		вологість ґрунтів $W_{ер}$	не визначається	
		наявність зон розуцільнення $\rho_i$	не визначається	
Напруження розтягу в монолітних шарах покриття $\sigma_\Gamma$	Коефіцієнт запасу міцності за опором розтягу при згині $K_\sigma$	товщина шарів покриття $h_i$	не визначається	Не визначається
		наявність підповерхневих дефектів $d_i$	не визначається	
Коефіцієнт варіації міцності $C_R$	Коефіцієнт надійності $K_H$	товщина шарів конструкції $h_i$	відбір кернів з конструкції вибірково	Не визначається
		вологість ґрунтів $W_{ер}$	не визначається	
		наявність зон розуцільнення $\rho_i$	не визначається	
<b>Споживчі властивості</b>				
Рівність покриття $IRI$	Забезпечена швидкість руху $V$	Поздовжня й поперечна рівність	Індекс рівності $IRI$	Розрахунок забезпеченої швидкості
Дефектність покриття	Індекс стану покриття $PCI$	Глибина колії; площа вибоїн; площа, довжина та ширина тріщин	Глибина колії; площа вибоїн; довжина й ширина тріщин	Візуальна оцінка; Розрахунок $PCI$

**Постановка завдань діагностики дорожніх одягів із застосуванням георадарних технологій**

Модель оцінки стану дорожнього одягу повинна забезпечувати можливість оцінки: споживчих властивостей дороги; жорсткості конструкції, яка обумовлена величиною пружного прогину; здатності конструкції спиратися дії напружень зсуву у ґрунтах земляного полотна; здатності монолітних шарів конструкції спиратися дії напружень розтягу; надійності конструкції, обумовленою варіацією параметрів [16]. У такому випадку модель оцінки поточного стану дорожнього одягу може бути наведена в загальному вигляді:

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

де:  $d_j$  – зовнішні параметри;

$\chi_i$  – внутрішні (сховані) параметри.

Під зовнішніми параметрами моделі будемо розуміти показники, що характеризують споживчі властивості дороги, а саме, рівність ( $IRI$ ) і дефектність покриття, які оцінюються за результатами прямих вимірювань. Під внутрішніми параметрами моделі будемо розуміти міцнісні та деформаційні показники стану конструкції, які оцінюються як за результатами непрямих вимірювань, так і за результатами розрахунку напружено-деформованого стану дорожнього одягу. Очевидно, що роль внутрішніх параметрів обумовлена не тільки їх впливом на поточний стан конструкції, але й тим, що, викликаючи передчасне руйнування дорожнього одягу, вони також будуть непрямим чином визначати збитки від зниження швидкості перевезень у майбутньому. Крім того, заходи з ремонту та утримання, що призначені без урахування внутрішніх параметрів дорожнього одягу, призведуть до необхідності передчасних повторних ремонтів, тобто до неефективного розподілу матеріальних і фінансових ресурсів.

З обліком (2) модель оцінки поточного стану може бути представлена у вигляді:

$$F = f(PCI | K_E, K_\tau, K_\sigma, K_H), \quad (3)$$

де:  $PCI$  – індекс стану покриття;

$K_E$  – коефіцієнт запасу міцності за пружним прогином;

$K_\tau$  – коефіцієнт запасу міцності за опором зсуву в ґрунтах земляного полотна та шарах зі слабо зв'язаних матеріалів;

$K_\sigma$  – коефіцієнт запасу міцності за опором розтягу при згині в монолітних шарах дорожнього одягу;

$K_H$  – коефіцієнт надійності.

У свою чергу, кожний з показників (3) визначається набором параметрів:

$$K_{E,\tau,\sigma} = f(N, E_i, h_i, E_{ep}, \varphi_{ep}, c_{ep}, R_u, m, T, W), \quad (4)$$

де:  $N$  – інтенсивність і склад транспортного потоку, авт./добу;

$E_i$  – модуль пружності  $i$ -го шару конструкції, МПа;

$h_i$  – товщина  $i$ -го шару конструкції, см;

$E_{ep}, \varphi_{ep}, c_{ep}$  – відповідно модуль пружності (МПа), кут внутрішнього тертя (град.) і коефіцієнт зчеплення (МПа) ґрунту;

$R_u, m$  – відповідно опір розтягу при згині монолітних матеріалів (МПа) і показник утоми;

$T, W$  – погодно-кліматичні фактори: відповідно температура повітря ( $^{\circ}C$ ), вологість

грунту земляного полотна й матеріалів шарів конструкції (частки одиниць від вологості на границі текучості  $W_T$ ).

Увесь комплекс завдань оцінки, прогнозування стану дорожнього одягу та призначення відповідних ремонтних заходів утворює єдину систему моніторингу дорожніх одягів. Згідно із сучасними уявленнями, системою є сукупність елементів (етапів), які взаємодіють (зв'язані) між собою, у процесі виконання єдиного поставленого завдання. Стосовно до моніторингу дорожніх одягів розглядаються основні етапи моніторингу як елементи системи: одержання інформації, аналізу, оцінки стану, планування заходів, прогнозування стану дорожнього одягу до та після призначення заходів. Перераховані елементи, виконуючи окремі функції, утворюють цілісну замкнену систему моніторингу, яка об'єднана рішенням завдання підвищення довговічності та працездатності дорожніх одягів, рисунок 1. В загальну схему моніторингу дорожніх одягів із залученням георадарних технологій пропонується ввести модель функції поточного стану дорожнього одягу вигляду  $F = f(d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_M | \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_i, \dots, \chi_N)$ , що враховує крім стандартного набору зовнішніх параметрів ( $d_j$ ) ще й набір внутрішніх (схованих) параметрів ( $\chi_i$ ). Під внутрішніми параметрами моделі будемо розуміти міцнісні та деформаційні показники стану конструкції, що оцінюються як за результатами непрямих вимірювань, так і за результатами розрахунку напружено-деформованого стану дорожнього одягу  $F = f(PCI | K_E, K_\tau, K_\sigma, K_H)$ .

Для реалізації переваг такої моделі запропоновано використовувати георадарні технології.

Для обчислення затримки сигналів (як основи рішення завдання товщинометрії) запропоновано використовувати перетворення Гільберта  $\tilde{x}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau$  з наступним

пошуком максимумів допоміжної позитивної функції  $A(t) = |h(t)| = \sqrt{x^2(t) + \tilde{x}^2(t)}$ . Така процедура припускає наявність апріорної інформації про властивості (діелектричної проникності) шарів дорожнього одягу. Тому далі необхідно вдосконалити запропонований алгоритм і розробити методику одночасного визначення товщини й діелектричної проникності шарів.

Наступний крок – обробка георадарних даних з метою їх перерахування в стандартні характеристики, що прийняті в дорожній галузі (товщину конструктивних шарів дорожнього одягу, вологість, щільність матеріалів, наявність і характер дефектів – підповерхневих тріщин). Для рішення цих завдань пропонується використовувати модель обробки й інтерпретації георадарних даних [17]. Застосування моделі оцінки стану дорожнього одягу, що спирається на результати георадарного обстеження, дозволяє не тільки оцінити відповідність дорожнього одягу критеріям міцності, але й встановити можливі першопричини руйнувань і деформацій дорожнього одягу на етапі аналізу.

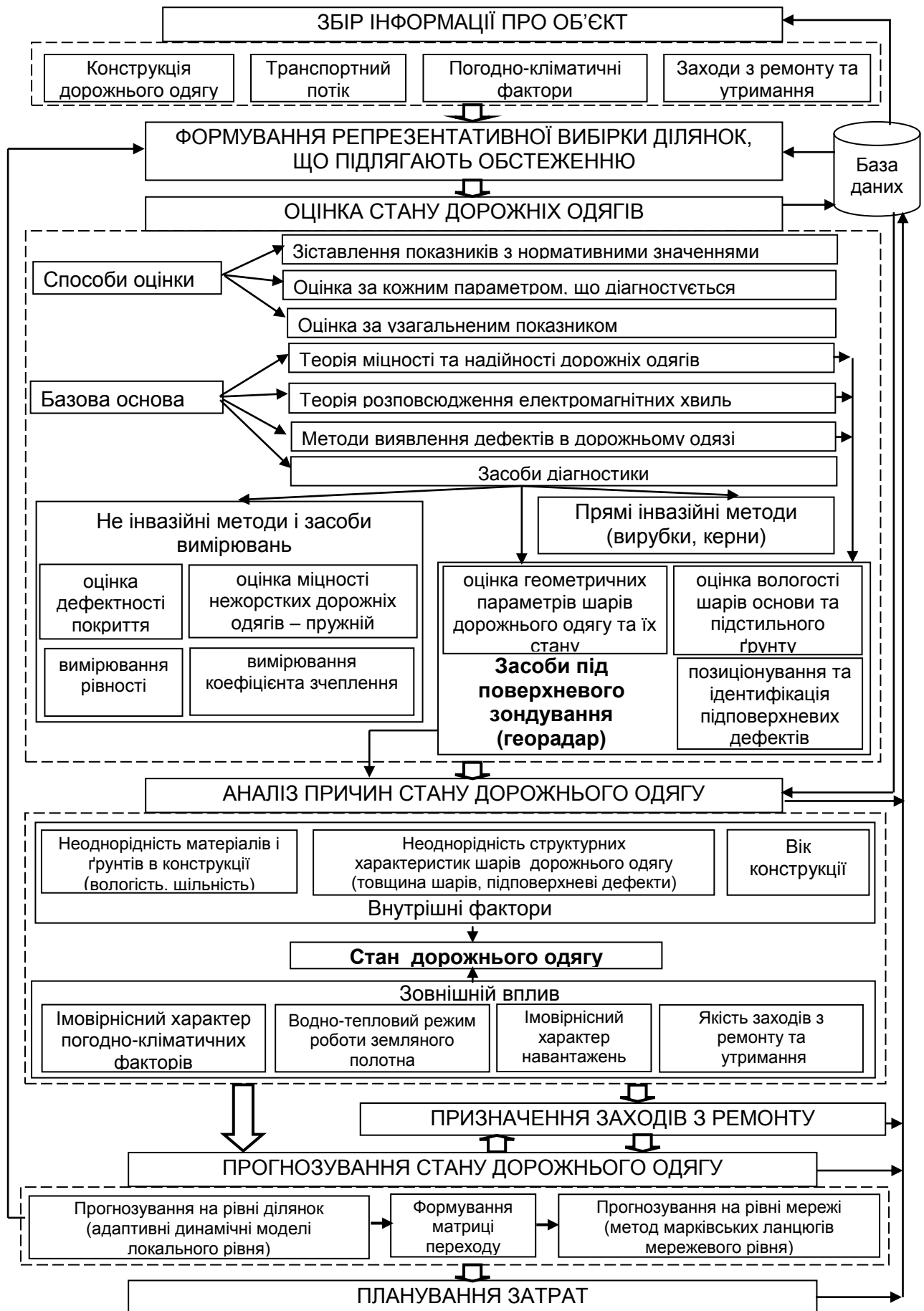


Рис. 1.Схема моніторингу стану дорожнього одягу нежорсткого типу із застосуванням георадарних технологій

З метою спрощення роботи і забезпечення швидкого доступу до інформації про стан дорожніх одягів пропонується система моніторингу і управління оперативними даними.

Пропонується динамічна структура показників, яка реалізує деревовидну структуру, що дозволяє створювати групи, декілька рівнів вкладеності. У записах дерева знаходяться параметри двох типів: обчислювальні і необчислювальні. Необчислювальні параметри є свого роду сховищем інформації, яка вводиться за оперативними даними (рис. 2).

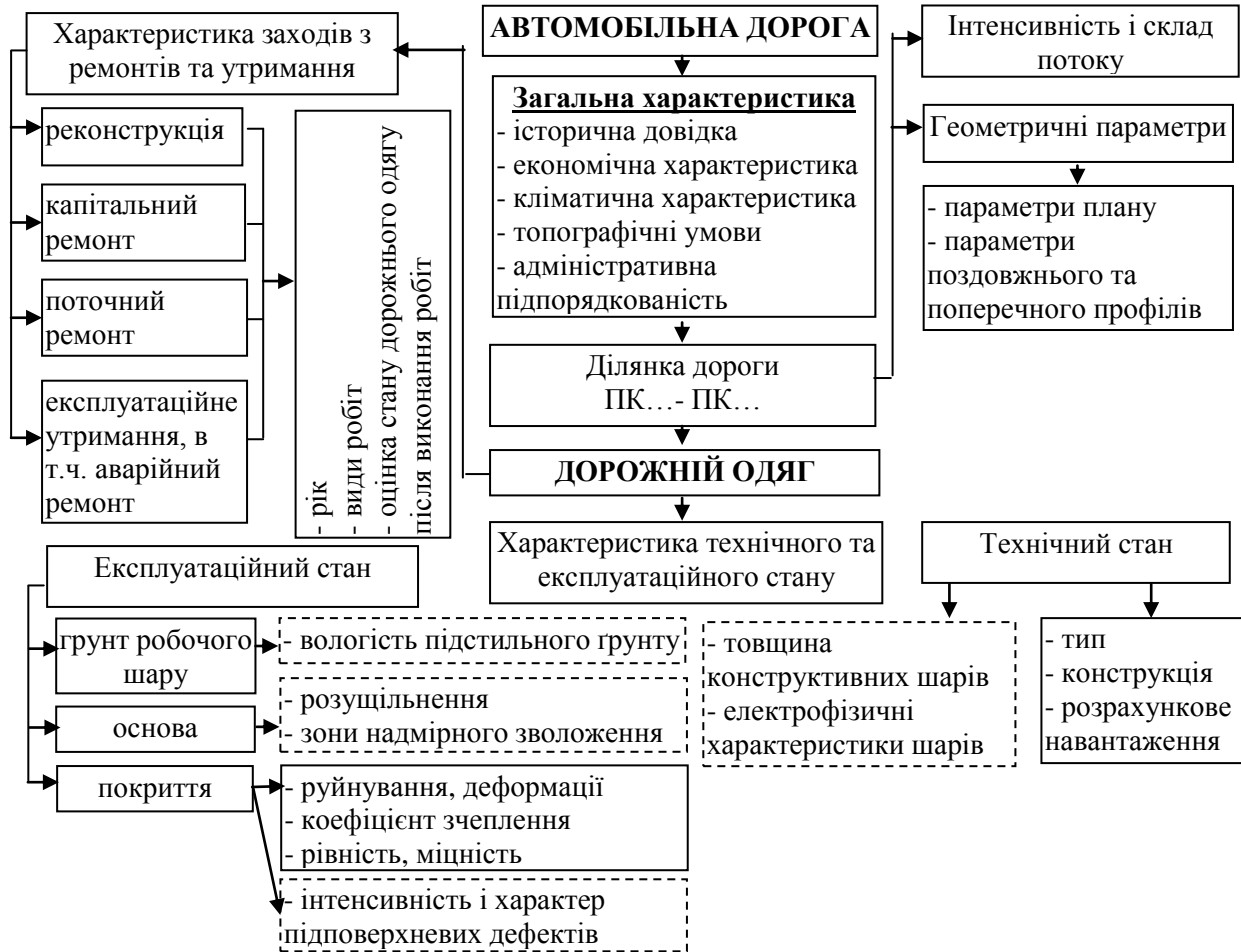


Рис. 2. Структурна схема необчислювальних параметрів баз даних техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу із застосуванням результатів георадарного обстеження

У свою чергу, від них залежать обчислювані параметри (рис. 3). Це дозволяє створювати показники, в яких на підставі введених значень необчислювальних параметрів зберігатимуться статистичні дані, наприклад, довжина ділянок дорожньої мережі, які знаходяться в незадовільному стані, або інтенсивність (тобто швидкість розвитку) руйнувань та деформацій на окремих ділянках доріг.

Подібна структура показників дозволяє створити структуру будь-якого рівня складності, задати зв'язки між показниками, забезпечивши тим самим необхідну гнучкість структури.

На основі необчислювальних параметрів розраховуються обчислювані параметри (рис. 3):

- а) кількість прикладань розрахункового навантаження;
- б) потрібний модуль пружності дорожнього одягу;
- в) максимальна кількість прикладань розрахункового навантаження з урахуванням втоми монолітних шарів;
- г) загальний модуль пружності дорожнього одягу;
- д) напруження розтягу при згині монолітних шарів покриття;
- е) напруження зсуву в ґрунтах земляного полотна та шарах із незв'язних матеріалів;

- ж) коефіцієнт варіації товщини шарів;  
 з) коефіцієнт варіації напруження розтягу при згині монолітних шарів.  
 Ці параметри в подальшому використовуються з метою:  
 а) аналізу коефіцієнта запасу міцності за граничними станами (пружній прогин; розтяг при згині, зсув в ґрунтах земляного полотна та шарах з незв'язних матеріалів);  
 б) аналізу коефіцієнта надійності за величиною коефіцієнта варіації товщини шарів та коефіцієнта варіації напруження розтягу при згині монолітних шарів.

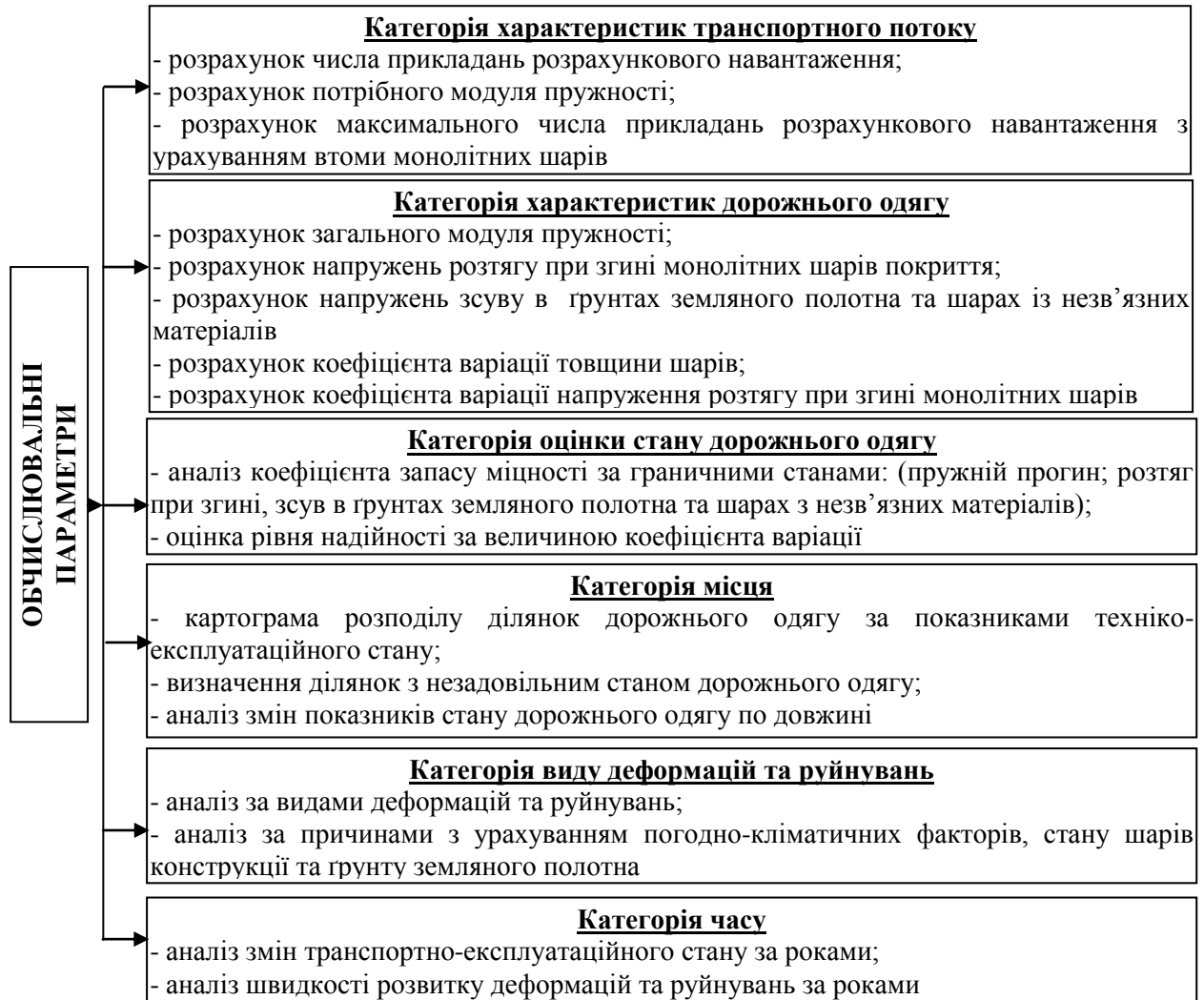


Рис. 3. Структурна схема обчислювальних параметрів баз даних

На підставі необчислюваних даних можуть бути:

- побудовані картограми розподілу ділянок дорожнього одягу за показниками техніко-експлуатаційного стану;
- визначені ділянки з незадовільним техніко-експлуатаційним станом дорожнього одягу та проаналізовано зміну техніко-експлуатаційного стану за часом;
- проведений аналіз змін показників стану дорожнього одягу по довжині дороги;
- проведений аналіз за видами деформацій та руйнувань, швидкістю розвитку;
- проведений аналіз за причинами, що призводять до деформацій та руйнувань з урахуванням погодно-кліматичних факторів, стану шарів конструкції та ґрунту робочої зони земляного полотна

Дані можуть бути скомпоновані в самих різних комбінаціях як для формування статистичних звітів, так і для глибокого вивчення причин, що призводять до передчасного руйнування конструкції дорожнього одягу з метою розробки ефективних заходів з забезпечення стабільних техніко-експлуатаційних показників протягом терміну служби дороги.



Кількість параметрів може доповнюватися додатковими параметрами інструментальної оцінки стану дорожнього одягу. Таким чином, можна задати довільну кількість обчислювальних або необчислювальних параметрів та довільний звітний період. База даних про стан дорожніх одягів за результатами георадарного обстеження повинна містити також блок інформаційних даних:

- а) нормативну та довідкову літературу;
- б) фізико-механічні характеристики матеріалів шарів дорожнього одягу;
- в) методики оцінки фактичного стану дорожнього одягу;
- г) методики прогнозування стану дорожнього одягу за результатами обстежень.

#### Висновки

Численні дослідження, що присвячені розробці методів оцінки стану дорожніх одягів, у більшості розглядають тільки осереднені показники, що характеризують стан дорожнього одягу. Практичне застосування таких методів обмежується неповнотою наборів даних про стан дорожніх одягів. Тому представляється доцільним застосування технічних засобів неруйнівного контролю, що забезпечують безперервність одержання інформації в реальному масштабі часу. Найбільший потенціал для оцінки поточного стану дорожніх одягів мають георадари, які можуть бути застосовані як окремо, так і в комбінації з іншими технічними засобами діагностики автомобільних доріг.

Розроблено модель оцінки стану дорожнього одягу, яку доповнено внутрішніми параметрами: геометричними – товщина конструктивних шарів дорожнього одягу; фізико-механічними – вологість ґрунтів земляного полотна; неоднорідності – наявність зон розуцільнення у зміцнених шарах основи, підповерхневі тріщини у монолітних шарах покриття. Модель дозволяє оцінити коефіцієнт запасу міцності за пружним прогином, за опором зсуву в ґрунтах земляного полотна та опором розтягу при згині в монолітних шарах покриття. Основою моделі є результати георадарного обстеження дорожніх одягів, що дозволяють оцінити міцнісний та деформаційний стан конструкції дорожнього одягу.

Узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень дозволили розробити загальну схему моніторингу дорожнього одягу із залученням георадарних технологій, основу якої складають нові моделі й засоби одержання інформації про стан дорожніх одягів, методи оцінки фактичного стану, а також моделі прогнозування стану дорожніх одягів, що спираються на найбільш повні набори даних і можливості георадарних технологій. Запропоновано концепцію бази даних про стан дорожніх одягів за результатами георадарних обстежень.

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. – 100 Barr Harbor Drive, 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. 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).
6. The AASHO Road Test. Report 7: Final Summary. – Washington: HRB, National Research Council, 1962. – 56 p.
7. AASHO. The AASHO road test : Special Report 61A–61G. – Highway Research Board, Washington, D.C., USA. – 1961. – 12 p.
8. Technical Standards Branch Newsletter [Електронний ресурс]. – The Open Group, May 2007. – Vol. 6. – Issue 1. – 8 p. – Режим доступу : <http://transportation.alberta.ca/Content/docType256/Production/newsltrmay07.pdf>.
9. Chu C.-Y. Empirical Comparison of Statistical Pavement Performance Models / C.-Y. Chu, P.L.

- Durango-Cohen // Journal of Infrastructure Systems. – 2008. – Vol. 14. – № 2. – P. 138–149.
10. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys : ASTM D6433 – 11. – [January 2008]. – ASTM International is a member of CrossRef, 2008. – 48 p.
  11. 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).
  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. Flexible Pavement Design Manual : Document № 625-010-002-g. – Tallahassee, Florida : Florida Department of Transportation, 2008. – 189 p.
  14. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. – American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993. – 624 p.
  15. Diefenderer B. K. Analysis of Full-Depth Reclamation Trial Sections in Virginia : Final Report / B.K. Diefenderer, A.K. Areageyi – Virginia Department of Transportation : VCTIR, 2011. – 54 p.
  16. Гамеляк І. П. Про нормування коефіцієнту запасу конструкцій дорожнього одягу із заданою надійністю / І.П. Гамеляк // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К. : НТУ, 2004. – № 69. – С. 32–37.
  17. Батракова А. Г. Оценка состояния дорожных одежд с привлечением георадарных технологий : монографія / А. Г. Батракова. – Х. : ХНАДУ, 2013. – 152 с.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2014.