

УДК 625.70
UDC 625.70

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.2-051-062

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ ПОШКОДЖЕННЯ
ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ**

**ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE DEGREE OF DAMAGE TO
CEMENT CONCRETE SURFACES OF ROADS AND AIRPORTS**



Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри системного проєктування об'єктів транспортної інфраструктури та геодезії, e-mail: gip65n@gmail.com, +380503524124,

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Харченко Анна Миколаївна, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: anna-x3@ukr.net, тел. +380442807909, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 323,

<https://orcid.org/0000-0001-8166-6389>



Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006,

<https://orcid.org/0000-0001-6144-7533>

Анотація У статті розглянуто сучасні методи оцінки ступеню пошкодження цементобетонних покриттів автомобільних доріг та аеродромів. Проведено аналіз традиційних та інноваційних підходів, розглянуто їх ефективність, точність та доцільність використання в різних умовах експлуатації.

Виявлення дефектів цементобетонного покриття є важливим етапом у процесі експлуатації та ремонту конструкцій цементобетонного покриття. Вчасне виявлення пошкоджень дозволяє запобігти подальшому руйнуванню та забезпечити безпеку експлуатації.

Виконано аналіз методів оцінки стану аеродромного покриття: Present Serviceability Index (PSI), Present Serviceability Rating (PSR), метод ACR-PCR, індекс збереження жорсткого покриття *MJ*. Вказано на переваги та недоліки методів.

Ключові слова: аналіз, фактори, методи, пошкодження, цементобетонні покриття, оцінка стану аеродромного покриття, переваги та недоліки, методи PSI (Present Serviceability Index), Present Serviceability Rating (PSR), Метод ACR-PCR, індекс збереження жорсткого покриття*MJ*.

Вступ. Цементобетонні покриття широко застосовуються в дорожньому та аеродромному будівництві завдяки їх високій міцності, довговічності та стійкості до впливу навантажень. Однак, з часом вони зазнають пошкоджень через механічні, кліматичні та хімічні впливи. Оцінка ступеню пошкодження є важливим етапом для визначення необхідності ремонтних заходів та прогнозування залишкового ресурсу покриття.

Цементобетонні покриття, незважаючи на свою міцність, з часом піддаються різним видам пошкоджень. Ці пошкодження можуть бути спричинені різноманітними факторами, як природними, так і антропогенними. До основних методів пошкодження таких покриттів відносяться: фізичні фактори, термічні напруження, перепади температур при різких змінах температури, бетон розширюється і стискається, що призводить до появи тріщин, пожежі - високі температури можуть призвести до руйнування структури бетону; морозна дія; вода в порах бетону. При замерзанні вода розширюється, що створює внутрішні напруження і призводить до руйнування бетону. Абразивне зношування: дія транспорту; рух транспортних засобів, особливо важкого, призводить до стирання поверхні бетону. Часто пошкодження цементобетонних покриттів відбувається в результаті комплексного впливу різних факторів. Наприклад, тріщини, що виникли внаслідок температурних напружень, можуть бути розширені в результаті дії агресивного середовища або механічних навантажень.

2. Класифікація дефектів цементобетонних покриттів Основними видами пошкоджень цементобетонних покриттів є:

- **Тріщини** (поздовжні, поперечні, сітчасті, температурні);
- **Руйнування швів** (відшарування, втрата герметизуючих матеріалів);
- **Відшарування та лущення поверхні;**
- **Осідання та деформації плит;**
- **Утворення вибоїн та каверн.**

3. Методи оцінки пошкоджень Існують різні методи визначення ступеню пошкодження цементобетонних покриттів, які можна поділити на традиційні та сучасні (інноваційні).

3.1. Візуальна оцінка Цей метод є найбільш поширеним та передбачає огляд поверхні покриття з фіксацією дефектів у карті ушкоджень. Переваги – простота та швидкість, недоліки – суб'єктивність оцінки та залежність від кваліфікації фахівця.

3.2. Дефлектографія Метод передбачає вимірювання прогину плит під навантаженням для визначення їх несучої здатності. Використовується спеціальна апаратура, що дозволяє оцінювати залишкову міцність покриття.

3.3. Ультразвукова діагностика Застосовується для визначення внутрішніх дефектів, таких як порожнини, мікротріщини та неоднорідності структури бетону. Метод забезпечує високу точність, але потребує спеціального обладнання та кваліфікованого персоналу.

3.4. Фото-інформаційні методи Ці методи включають використання цифрової фотограмметрії, тепловізійної зйомки, лазерного сканування та інших безконтактних технологій для оцінки стану покриття. Вони дозволяють отримувати об'єктивні дані та автоматизувати аналіз пошкоджень.

3.5. Георадарні дослідження Метод базується на використанні електромагнітних хвиль для виявлення внутрішніх пошкоджень у товщі бетону та аналізу несучих характеристик конструкції. Переваги – можливість комплексного дослідження без порушення структури покриття.

4. Порівняльний аналіз методів Для порівняння методів оцінки пошкоджень використано такі критерії [1 - 6] (табл. 1):

- **Точність** (ступінь деталізації отриманих даних);
- **Швидкість виконання обстеження;**

- **Вартість проведення досліджень;**
- **Можливість автоматизації.**

Таблиця 1 – Порівняння основних методів обстеження стану покриття.

Table 1 – Comparison of the main methods for surveying the condition of the pavement.

Метод	Точність	Швидкість	Вартість	Автоматизація
Візуальна оцінка	Середня	Висока	Низька	Низька
Дефлектографія	Висока	Середня	Висока	Низька
Ультразвук	Висока	Середня	Висока	Низька
Фото-інформаційні методи	Висока	Висока	Середня	Висока
Тепловізійні дослідження	Висока	Середня	Середня	Середня
Георадарні дослідження	Висока	Висока	Висока	Висока

PSI (Present Serviceability Index) для цементобетонних покриттів визначається за методикою, розробленою Американською асоціацією державних службовців автомобільних доріг і транспорту (AASHTO) [4]. Він базується на таких параметрах дорожнього покриття :

Формула для розрахунку PSI

Для жорстких (цементобетонних) покриттів PSI розраховується за формулою:

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log(I + SV) - 0.09 (C + P) - 0.25 (F), \quad (1)$$

де: **SV (Slope Variance)** – варіація поздовжнього профілю покриття (виражається у термінах IRI – International Roughness Index); **C** – кількість тріщин (враховуються як дрібні, так і великі тріщини на 100 м дороги); **P** – пошкодження швів та стиків цементобетонних плит (оцінюється як кількість дефектів на 100 м дороги); **F** – площа вибоїв та лушення покриття (м² на 100 м дороги).

Класифікація PSI:

- 4.0 – 5.0** – відмінний стан покриття, комфортний для руху;
- 3.0 – 4.0** – хороший стан, незначні дефекти;
- 2.0 – 3.0** – задовільний стан, можливі локальні пошкодження;
- 1.0 – 2.0** – поганий стан, потребує ремонту;
- 0.0 – 1.0** – аварійний стан, необхідна реконструкція.

Методи визначення PSI:

1. **Інструментальні вимірювання нерівностей** (профілографи, лазерні сканери);
2. **Візуальна оцінка тріщин, пошкоджень швів та вибоїв** (за допомогою фото-інформаційних методів);
3. **Георадарні дослідження** (оцінка внутрішніх дефектів та деформацій основи).

Використання PSI допомагає визначити залишковий ресурс покриття та обґрунтувати вибір необхідних ремонтних заходів.

Present Serviceability Index (PSI) для асфальтобетонних покриттів визначається за емпіричною формулою, розробленою Американською асоціацією державних службовців автомобільних доріг і транспорту (AASHTO). Він враховує нерівності покриття, наявність тріщин та пластичних деформацій.

Формула для розрахунку PSI для асфальтобетонних покриттів:

$$PSI = 5.03 - 1.38 \log(I + SV) - 0.01 (C) - 0.32 (P) - 0.12 (R), \quad (2)$$

де: **SV (Slope Variance)** – варіація поздовжнього профілю покриття, зазвичай представлена через **IRI (International Roughness Index)**; **C** – площа тріщин (у % від площі покриття на 100 м дороги); **P** – площа колійності (у мм); **R** – площа вибоїн та лушення (у % від загальної площі покриття).

Present Serviceability Rating (PSR) – це суб'єктивний метод оцінки стану дорожнього покриття на основі візуального огляду та відчуттів водіїв під час руху. Він використовується як спрощена альтернатива **Present Serviceability Index (PSI)**, оскільки не потребує складних інструментальних вимірювань.

Методика визначення PSR/ PSR оцінюється за п'ятибальною шкалою (табл. 2)/

Таблиця 2 – Оцінка PSR за характеристикою стану покриття

Table 2 – PSR assessment by pavement condition characteristic

Оцінка PSR	Характеристика стану покриття
5.0	Відмінний стан: дуже рівна поверхня, немає тріщин, вибоїн чи колійності.
4.0 – 4.9	Хороший стан: мінімальні нерівності, можливі дрібні тріщини, незначні дефекти.
3.0 – 3.9	Задовільний стан: помітні нерівності, місцями тріщини, незначна колійність.
2.0 – 2.9	Незадовільний стан: значна колійність, вибоїни, великі тріщини, відчутний дискомфорт при русі.
1.0 – 1.9	Поганий стан: значні деформації, небезпечні вибоїни, серйозні дефекти, рух ускладнений.
0.0 – 0.9	Аварійний стан: практично непридатне для руху, потребує негайного ремонту.

Методи збору даних для PSR

- Експертне оцінювання:** група інженерів або водіїв оцінює покриття під час руху.
- Оцінка водіями:** використання анкетування водіїв для збору суб'єктивних даних.
- Візуальна інспекція:** дорожні служби проводять огляд покриття з оцінкою за п'ятибальною шкалою.

Відмінність між PSR та PSI:

PSR – суб'єктивна оцінка, що базується на відчуттях водіїв та експертів.

PSI – об'єктивний індекс, який розраховується на основі інструментальних вимірювань (IRI, тріщини, вибоїни, колійність).

PSR зазвичай корелює з PSI, і для калібрування PSI часто використовуються суб'єктивні оцінки PSR.

PSR є корисним для швидкого оцінювання стану доріг, але для детального аналізу та планування ремонту необхідне використання PSI.

Аналітична залежність між **Present Serviceability Rating (PSR)** та **Present Serviceability Index (PSI)** була встановлена в результаті досліджень AASHTO під час дорожніх тестів у 1950-х роках. Для асфальтобетонних та цементобетонних покриттів ця залежність має наступну емпіричну форму:

$$PSI = 5.03 - 0.43 \times PSR, \quad (3)$$

або в еквівалентній формі:

$$PSR = \frac{5.03 - PSI}{0.43}, \quad (4)$$

Інтерпретація залежності

PSI та PSR корелюють між собою, але PSI є об'єктивним показником, який враховує вимірні параметри (IRI, тріщини, колійність тощо), тоді як PSR ґрунтується на візуальному та суб'єктивному сприйнятті якості дороги.

При **PSR = 5.0** (відмінний стан) значення **PSI ≈ 2.88**.

При $PSR = 2.0$ (поганий стан) значення $PSI \approx 4.17$, що означає значну деформацію покриття. PSI не може бути вище 5.0 за визначенням, що відповідає ідеальному стану дороги.

Практичне застосування

PSR використовується для швидкого суб'єктивного оцінювання під час польових обстежень.

PSI застосовується для проєктування ремонтних робіт, оскільки базується на вимірюваннях параметрів покриття.

Для визначення реального зв'язку між **PSI** і **PSR** в конкретних умовах можуть використовуватися регіональні калібрувальні залежності.

Таким чином, знання **PSR** дозволяє оцінити **PSI** та навпаки, що корисно при аналізі дорожнього покриття без складних інструментальних досліджень.

Метод ACN-PCN (Aircraft Classification Number - Pavement Classification Number) використовується для оцінки несної здатності аеродромного покриття. Цей метод був розроблений Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO) і використовується для визначення того, чи може конкретне покриття аеродрому безпечно витримувати вагу певного літака.

Основна ідея полягає в порівнянні двох чисел: **ACN** (Aircraft Classification Number) і **PCN** (Pavement Classification Number). **ACN** визначає відносний вплив ваги літака на покриття, враховуючи стандартну міцність підстилки 1. **PCN** же відображає несну здатність покриття.

Якщо **ACN** літака менший або рівний **PCN** покриття, то літак може безпечно працювати на цьому покритті без обмежень. Цей метод допомагає аеропортам визначати, які літаки можуть безпечно використовувати певні покриття.

В останні роки замість методу **ACN-PCN** в аеропортах України впроваджується метод **ACR-PCR** для оцінки стану аеродромного покриття.

Метод ACR-PCR для оцінки стану аеродромного покриття

ACR-PCR (Automated Crack Recognition – Pavement Condition Rating) – це сучасний автоматизований метод оцінки стану дорожнього покриття, який поєднує комп'ютерне розпізнавання тріщин (**ACR**) та загальну рейтингову систему оцінки стану покриття (**PCR**).

Суть методу ACR-PCR

Автоматизоване розпізнавання тріщин (ACR)

Використовуються високоточні камери та лазерні сканери, встановлені на дорожніх інспекційних транспортних засобах або дронах.

Зображення обробляються за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору та штучного інтелекту (**AI**) для ідентифікації тріщин, вибоїн, луцнення та інших дефектів.

Використовуються методи глибокого навчання (**CNN – Convolutional Neural Networks**) для підвищення точності розпізнавання.

Розрахунок рейтингу стану покриття (PCR)

Виявлені дефекти класифікуються за типом, розміром та інтенсивністю.

Дані інтегруються у систему оцінки загального стану покриття (**PCR – Pavement Condition Rating**).

Класифікація дефектів дорожнього покриття в методі ACR-PCR

Метод **ACR-PCR (Automated Crack Recognition – Pavement Condition Rating)** передбачає автоматизовану ідентифікацію та класифікацію дефектів дорожнього покриття за типом, розміром та інтенсивністю.

1. Класифікація дефектів за типом

Дефекти поділяються на основні категорії відповідно до стандартів **AASHTO** та **ASTM**:

- **Тріщини**

Поздовжні (Longitudinal cracks) – з'являються вздовж напрямку руху транспорту.

Поперечні (Transverse cracks) – утворюються перпендикулярно до осі дороги.

Сітчасті (Alligator cracks) – нагадують "шкіру алігатора", сигналізують про втрату несучої здатності основи.

Крайові (Edge cracks) – з'являються вздовж краю дорожнього полотна.

Тріщини швів (Joint cracks) – характерні для цементобетонних покриттів.

- Деформації

Колійність (Rutting) – постійні вм'ятини в зоні руху коліс транспорту.

Гребені (Corrugation) – поперечні хвилеподібні деформації.

Опуклості та западини (Depressions and bumps) – локальні нерівності покриття.

- Руйнування покриття

Вибіони (Potholes) – локальні зруйнування покриття із видаленням матеріалу.

Лущення (Raveling) – поверхнєве руйнування, викликане втратою зчеплення матеріалу.

Відшарування (Delamination) – відокремлення верхнього шару покриття.

2. Класифікація дефектів за розміром

Дефекти вимірюються та класифікуються за такими параметрами:

- Тріщини:

Мікротріщини (ширина до 1 мм).

Малі тріщини (1–3 мм).

Середні тріщини (3–10 мм).

Великі тріщини (понад 10 мм).

- Вибіони:

Малі (до 150 мм у діаметрі, глибина до 25 мм).

Середні (150–300 мм, глибина 25–50 мм).

Великі (понад 300 мм, глибина понад 50 мм).

- Колійність:

Незначна (< 10 мм).

Середня (10–20 мм).

Значна (> 20 мм).

3. Класифікація дефектів за інтенсивністю

Метод ACR-PCR оцінює інтенсивність дефектів за їхньою щільністю та розповсюдженням на поверхні дороги:

Низька інтенсивність – дефекти займають менше 10% площі покриття.

Середня інтенсивність – уражена 10–30% площі.

Висока інтенсивність – дефекти займають понад 30% площі покриття.

Метод ACR-PCR використовує ці параметри для розрахунку **індексу стану покриття (PCR)** та визначення необхідних ремонтних заходів.

Які характеристики цементобетону необхідно ввести в програму FAARFIELD для розрахунку PCR (Pavement Classification Rating)?

Характеристики цементобетону для розрахунку PCR у FAARFIELD

FAARFIELD (Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design) – це програмне забезпечення для розрахунку несучої здатності та довговічності покриттів аеродромів та автомобільних доріг.

Для визначення **Pavement Classification Rating (PCR)** необхідно ввести такі **характеристики цементобетону**:

1. Механічні характеристики

- **Модуль пружності (Elastic Modulus, E_c)**

Типові значення: **27–45 ГПа (4000–6500 ksi)**.

Визначає жорсткість бетону та його здатність витримувати навантаження.

- **Міцність на згин (Flexural Strength, S_f)**

Типові значення: **4,5–6,9 МПа (650–1000 psi)**.

Використовується для розрахунку граничних навантажень та витривалості покриття.

- Коефіцієнт Пуассона (Poisson's Ratio, ν)

Типове значення: 0,15–0,20.

Оцінювання технічного стану цементобетонних покриттів за методом PCI (Pavement Condition Index).

Метод **Pavement Condition Index (PCI)** є широко використовуваним підходом для оцінки технічного стану цементобетонних (і асфальтобетонних) покриттів автомобільних доріг та аеродромів. Він розроблений **Інженерним корпусом армії США (U.S. Army Corps of Engineers)** та стандартизований в **ASTM D5340** (для аеродромів) і **ASTM D6433** (для автомобільних доріг).

Суть методу PCI

Метод PCI ґрунтується на **візуальному обстеженні** покриття та визначенні рівня його пошкодження, що дозволяє отримати об'єктивну оцінку стану дороги або злітно-посадкової смуги.

Основні етапи оцінювання:

1. **Вибір репрезентативних ділянок**

Покриття розбивається на **ділянки** (pavement sections), які мають однорідні умови експлуатації та конструкцію.

У кожній ділянці виділяються **випробувальні площі** (sample units), розмір яких залежить від типу покриття:

Для бетонних покриттів: **від 20 до 50 м²**.

Для асфальтобетонних покриттів: **від 40 до 200 м²**.

Ідентифікація дефектів та їх класифікація

Фіксуються дефекти за **типом, інтенсивністю та площею пошкодження**.

Стандарт **ASTM D5340** (для аеродромів) та **ASTM D6433** (для доріг) визначає **19 основних типів дефектів** цементобетонного покриття, серед яких:

Поперечні та поздовжні тріщини

Крайові руйнування

Відшарування (шарування бетону)

Ковзання плит (slab faulting)

Піднімання (здиблення) плит (blow-up)

Вибойни та втрата матеріалу

Присвоєння вагових коефіцієнтів дефектам.

Кожен тип пошкодження має різний **вплив на довговічність покриття**. Визначається частка покриття, уражена певним видом дефекту.

Розрахунок PCI за спеціальною формулою.

PCI визначається у діапазоні **від 0 до 100**, де:

100 – ідеальне покриття без дефектів

85–70 – хороше покриття

55–40 – задовільний стан

25–10 – незадовільний стан

0 – повне руйнування покриття

Формула враховує зниження індексу внаслідок кожного виду дефектів та їх площу.

Аналіз та прийняття рішень

На основі PCI приймаються рішення щодо **планування ремонтних робіт**, зокрема:

PCI \geq 85 – профілактичне обслуговування

PCI 70–55 – середній ремонт

PCI \leq 40 – капітальний ремонт або реконструкція

Переваги методу PCI:

Об'єктивність – оцінка базується на стандартизованих критеріях.

Швидкість – можливість швидкого визначення стану покриття без складного обладнання.

Простота – можливість використання як ручних, так і автоматизованих систем (наприклад, БПЛА або мобільних сканерів).

Гнучкість – метод підходить як для доріг, так і для аеродромних покриттів.

Недоліки: Суб'єктивний фактор – залежність від досвіду інспектора.

Не враховує структурну міцність покриття – PCI відображає лише поверхневий стан.

Формула для розрахунку **Pavement Condition Index (PCI)** базується на визначенні внеску кожного виду дефекту в загальний стан покриття.

Основна формула PCI:

$$PCI = 100 - \sum(CDV), \quad (5)$$

де, **CDV (Corrected Deduct Value)** – скориговане значення зниження індексу через наявність певного дефекту. $\sum CDV$ – сума скоригованих значень для всіх виявлених дефектів.

Алгоритм розрахунку PCI

Визначення щільності дефектів

Для кожного типу дефекту розраховується **щільність** (Density, %) за формулою:

$$\text{Density} = \left(\frac{\text{Area of defect}}{\text{Total sample unit area}} \right) \times 100. \quad (6)$$

Розрахунок первинних знижувальних значень (Deduct Value, DV)

За спеціальними таблицями (ASTM D6433) визначається **DV** для кожного дефекту залежно від його площі та інтенсивності.

Скориговане значення CDV

Якщо є один тип дефекту, $CDV = DV$.

Якщо кілька дефектів, використовується спеціальна номограмна крива для корекції DV.

Розрахунок PCI

Від 100 віднімається сума всіх CDV, отриманих для конкретної випробувальної площі.

$$PCI = 100 - \sum CDV \quad PCI = 100. \quad (7)$$

Якщо $\sum CDV > 100$, тоді $PCI = 0$.

Приклад розрахунку:

Виявлено **тріщини з шириною >3 мм**, що займають **20% площі** → за таблицею **DV = 30**.

Виявлено **вибоїни**, що займають **10% площі** → за таблицею **DV = 20**.

Використовуючи номограму, скориговані значення **CDV = 40**.

Розрахунок PCI:

$$PCI = 100 - 40 = 60 \quad PCI = 100 - 40 = 60 \quad PCI = 100 - 40 = 60.$$

Це означає, що покриття перебуває у **задовільному стані**.

Формула і методика розрахунку деталізовані у стандарті **ASTM D6433**.

Метод PCI використовується в багатьох країнах як стандартний інструмент **моніторингу стану дорожнього покриття та аеродромів**, а також для **пріоритезації ремонтних заходів**.

В Україні придатність покриттів за їх технічним станом оцінюють на підставі аналізу характеру та кількості дефектів аеродромних покриттів з граничними значеннями. Граничні значення нерівності поверхні аеродромного покриття та граничні значення дефектів аеродромних покриттів і заходи щодо їх усунення перед польотами повітряних суден, наведені в таблицях 1, 2 додатка 25 до Інструкції [7]. Обсяги ремонтних робіт щодо підтримання аеродромних покриттів у необхідному експлуатаційному стані, якщо чисельні значення дефектів не перевищують граничних значень, визначають на підставі індексу зберігання покриттів MJ для жорстких покриттів та показника стану покриттів P_0 - нежорстких покриттів відповідно до таблиці 3 додатка 25 до Інструкції [7].

Технічний стан покриттів оцінюють на підставі результатів візуальних оглядів, що фіксують на плані усунення дефектів покриття в журналі технічного стану аеродромного покриття під час періодичних оглядів.

Відповідно до Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України (у редакції Наказу Міністерства Оборони України від 23.09.2020р. №348 технічний стан цементобетонних покриттів оцінюють за допомогою індексу збереження MJ , який обчислюється за формулою:

$$MJ = 5 - \sum_i (n_i / n) \cdot a_i, \quad (8)$$

де n_i – число плит з дефектом i -го типу;

n – загальне число плит обстеженої ділянки покриття;

a_i – «вага» дефекту i -го типу, наведена в таблиці 4 додатка 25 до Інструкції [7].

Якщо на одній плиті є дефекти різних типів, то під час визначення індексу MJ враховують тільки дефекти з максимальним значенням.

Відремонтовані ділянки покриттів (крім заміни зруйнованих плит і переукладання плит для усунення нерівності) враховують під час оцінки як дефекти, усунуті поточним ремонтом. При цьому значення дефектів, що усуваються, зменшується в 1,5 рази.

Додаток 25 до Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України (пункт 22 глави 2 розділу V)

Таблиця 3 – Граничні значення нерівності поверхні аеродромного покриття

Table 3 – Limit values of airfield pavement surface roughness

Тип покриття, контрольні показники	Граничні значення	
	на злітно-посадковій смузі (далі - ЗПС)	на руліжних доріжках (далі - РД), місцях стоянки (далі - МС)
1	2	3
Жорсткі покриття: перевищення граней суміжних плит у швах (тріщинах);	20 мм	27 мм
алгебраїчна різниця повздовжніх схилів суміжних плит	0,02	0,033
Нежорсткі покриття: колії, хвилі, зсуви, прогаліни;	30 мм	50 мм
алгебраїчна різниця повздовжніх схилів на суміжних ділянках завдовжки 10 м	0,02	0,033

Згідно п. 5.68 СНиП 2.05.08-85 Аеродроми [8] та проекту ДБН В.2.2-XX:2022 Будівлі та споруди. Аеродроми. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво [9] п. 15.4.3 При визначенні жорсткості та граничного згинального моменту цементобетонних та армобетонних шарів існуючих покриттів їх розрахункову товщину t_{pd} слід приймати залежно від категорії руйнування, що встановлюється за таблицею Д.13 Додатку Д цих ДБН та товщини t_{ex} існуючого покриття при категорії руйнування: І категорія руйнування $t_{pd} = t_{ex}$; ІІ категорія руйнування $t_{pd} = 0,9 t_{ex}$; ІІІ категорія руйнування $t_{pd} = 0,8 t_{ex}$.

Таблиця 4 – Граничні значення дефектів аеродромних покриттів і заходи щодо їх усунення перед польотами повітряних суден

Table 4 – Limit values of airfield pavement defects and measures to eliminate them before aircraft flights

Дефект покриття	Опис та граничне значення дефекту і заходи щодо його усунення перед польотами повітряних суден
1	2
Монолітні бетонні, армобетонні і залізобетонні покриття	
Наскрізнi тріщини завширшки менше 40 мм без руйнування кромки	Відношення довжини тріщин у метрах до площі покриття у квадратних метрах не повинно перевищувати 0,3 - для бетонних і армобетонних та 0,4 - для залізобетонних покриттів. Герметизація тріщин
«Волосяні» тріщини	Допускається необмежена кількість усадочних тріщин. Захисне просочення покриття або затирання. Тріщини завширшки більше 0,3 мм підлягають герметизації без розробки
Злущення поверхні плит	Злущення окремих ділянок поверхні на глибину не більше 5 мм. Злущені ділянки поверхні підлягають ретельному очищенню зі збиранням часток, що відшарувалися. Захисне просочення покриття або влаштування захисного шару з полімерних матеріалів
Відколи бетону біля швів	Окремі відколи завширшки і завглибшки не більше 3 см. Шматки бетону, що відколюлися, прибирають, а порожнини, що утворилися, заливають герметиком
Раковини і вибоїни на поверхні плит без оголення стержнів арматури	Усі раковини і вибоїни на поверхні плит без оголення стержнів арматури підлягають заливанню гумобітумним в'язучим або іншим ремонтним матеріалом

Таблиця 5 – Обсяги ремонтних робіт щодо підтримання аеродромних покриттів у необхідному експлуатаційному стані

Table 5 – Volumes of repair work to maintain airfield surfaces in the required operational condition

Індекс зберігання покриттів MJ	Показник стану покриттів P_o	Стан покриття	Рекомендовані заходи
1	2	3	4
Від 4,0 до 5,0	До 39	добрий	планові заходи з експлуатаційного утримання
Від 3,0 до 4,0	Від 40 до 69	задовільний	поточний ремонт
3,0 та менше	70 та більше	незадовільний	капітальний ремонт

При визначенні жорсткості і граничного згинаючого моменту бетонних і армобетонних шарів посилення покриттів розрахункову товщину їх t_{pd} слід приймати залежно від категорії руйнування, встановлюваної по табл. 25, і товщина t_{ex} існуючого покриття при категорії руйнування: I..... $t_{pd}=t_{ex}$, II..... $t_{pd}=0,9t_{ex}$, III..... $t_{pd}=0,8t_{ex}$.

Існуючі жорсткі покриття IV категорії руйнування в розрахунку належить враховувати як штучні основи з коефіцієнтом постелі

$$K_s = 600 \text{ МПа/м}^3 \text{ (60 кгс/см}^3\text{)}.$$

Способи посилення покриттів визначають з урахуванням категорії нормативного навантаження і залежно від стану існуючого покриття. Категорію руйнування існуючих жорстких покриттів встановлюють відповідно до табл. 6.

Посилення існуючих покриттів викликано наступними причинами: необхідністю підвищення несучої здатності покриттів з появою нової авіаційної техніки (нового типу розрахункового повітряного судна), збільшенням інтенсивності повітряного руху або незадовільним експлуатаційно-технічним станом аеродромного покриття: наявністю дефектів покриттів (вибоїн, сильного зносу верхнього шару), неприпустимих для безпечної експлуатації повітряних судів, усунення яких неможливе методами поточного ремонту.

Таблиця 6 – Категорії руйнування жорстких аеродромних покриттів
Table 6 – Destruction categories of hard airfield pavement

Категорія руйнування плит існуючих жорстких покриттів	Кількість зруйнованих плит, %, з			
	з лущенням глибиною понад 1 см	з відколами кромки в місцях швів	з наскрізними тріщинами (подовжні або поперечні)	з відколами кутів, діагональними наскрізними тріщинами поряд з наскрізними подовжніми та поперечними
I	Менше 10	-	-	-
II	Від 10 до 30	Менше 30	Менше 20	-
III	Понад 30	30 і більше	Від 20 до 30	Менше 20
IV	Не нормується		Понад 30	20 і більш

Примітки: 1. Категорію руйнування встановлюють за ознакою, що дає найвищу категорію руйнування. 2. Наскрізні тріщини враховуються, якщо середня відстань між ними менше 5 м і вони не допускаються розрахунковим граничним станом. Примітка 3. При визначенні відсотка зруйнованих плит слід приймати: для ШЗПС – середню смугу шириною, що дорівнює половині ширини ШЗПС за всією її довжиною; для РД та інших елементів покриття - ряд плит, що зазнають впливу навантажень від основних опор повітряних суден; для МС та перонів - всю робочу площу

Шари посилення покриттів слід проектувати у випадках:

- коли несуча здатність існуючого покриття недостатня для сприйняття навантаження від повітряних судів, експлуатація яких планується на даному аеродромі;
- коли несуча здатність покриття достатня, але його поверхня знаходиться в стані, при якому заміна окремих плит або ділянок і ремонт залишилися економічно менш вигідні, ніж укладання нового шару.

Висновки Вибір методу оцінки ступеню пошкодження цементобетонних покриттів залежить від умов експлуатації, необхідної точності, вартості та доступності обладнання. Найбільш перспективними є фото-інформаційні методи, тепловізійне та георадарні дослідження, які забезпечують комплексний аналіз стану покриття без його руйнування.

Перелік посилань

1. ДСТУ Б В.2.3-4:2000 «Автомобільні дороги. Методи визначення міцності покриттів».
2. ДСТУ Б В.2.3-3-2000 (ГОСТ 30412-96). Дороги автомобільні та аеродроми. Методи вимірювань нерівностей основ і покриттів. [Чинний від 23-02-2000]. Київ, 2000. 10 с. (Стандарт Держбуду України).
3. ASTM D6087-08 «Standard Test Method for Evaluating Asphalt-Covered Concrete Bridge Decks Using Ground Penetrating Radar».
4. AASHTO R 36-04 «Evaluating Faulting of Concrete Pavements by Meters».
5. Гамеляк І.П., Дмитриченко А.М., Райковський В.Ф. Удосконалення методики оцінювання стану аеродромного покриття // Airport Planning, Construction and Maintenance Journal. Київ. НАУ. Вип. 2, 2023. С. 20 -32. <https://journals.nau.in.ua/index.php/apcmj/article/download/9/9>
6. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Комплексне оцінювання стану дорожнього покриття. Дороги і мости. Київ, Вип. 30. 2024. С. 122–137. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.122>
7. Інструкція з експлуатації аеродромів державної авіації України: Наказ Міністерства оборони України від 1 липня 2013 р. № 441. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1229-13>.
8. СНиП 2.05.08-85 Аеродроми.
9. ДБН В.2.2-XX:2022 Будівлі та споруди. АЕРОДРОМИ. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. <https://nau.edu.ua/site/variables/news/2022/Аеродроми.pdf>.

ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE DEGREE OF DAMAGE TO CEMENT CONCRETE SURFACES OF ROADS AND AIRPORTS

Gameliak Igor P., Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «System design of transport infrastructure objects and geodesy», National Transport University, e-mail: gip65@gmail.com, +380503524124, id ORCID 0000-0001-9246-7561

Kharchenko Anna M., Sc.D., Professor, National Transport University, Professor of Transport Construction and Property Management Department, e-mail: anna-x3@ukr.net, tel. +380442807909, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 323, <https://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

Dmytrychenko Andij M., Candidate of Engineering Sciences, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, id ORCID 0000-0001-6144-7533

Abstract

The article considers modern methods for assessing the degree of damage to cement concrete pavements of highways and airfields. An analysis of traditional and innovative approaches is carried out, their effectiveness, accuracy and feasibility of use in various operating conditions are considered.

Detection of defects in cement concrete pavement is an important stage in the process of operation and repair of cement concrete pavement structures. Timely detection of damage allows you to prevent further destruction and ensure operational safety.

An analysis of methods for assessing the condition of airfield pavements is carried out: Present Serviceability Index (PSI), Present Serviceability Rating (PSR), ACR-PCR method, hard pavement preservation index MJ. The advantages and disadvantages of the methods are indicated.

Keywords: analysis, factors, methods, damage, cement concrete pavements, assessment of the condition of airfield pavements, advantages and disadvantages, PSI (Present Serviceability Index) methods, Present Serviceability Rating (PSR), ACR-PCR method, hard pavement preservation index MJ.

Reference

1. DSTU B V.2.3-4:2000 «Avtomobilni dorohy. Metody vyznachennia mitsnosti pokryttiv».
2. DSTU B V.2.3-3:2000 (HOST 30412-96). Dorohy avtomobilni ta aerodromy. Metody vymiriuvan nerivnostei osnov i pokryttiv. [Chynnyi vid 23-02-2000]. Kyiv, 2000. 10 s. (Standart Derzhbudu Ukrainy).
3. ASTM D6087-08 «Standard Test Method for Evaluating Asphalt-Covered Concrete Bridge Decks Using Ground Penetrating Radar».
4. AASHTO R 36-04 «Evaluating Faulting of Concrete Pavements by Meters».
5. Hameliak I.P., Dmytrychenko A.M., Raikovskiy V.F. Udoshkonalennia metodyky otsiniuvannia stanu aerodromnoho pokryttia // Airport Planning, Construction and Maintenance Journal. Kyiv. NAU. Vyp. 2, 2023. S. 20 -32. <https://journals.nau.in.ua/index.php/apcmj/article/download/9/9>
6. Hameliak I.P., Raikovskiy V.F. Kompleksne otsiniuvannia stanu dorozhnoho pokryvu. Dorohy i mosty. Kyiv, Vyp. 30. 2024. S. 122–137. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.30.122>
7. Instruktsiia z ekspluatatsii aerodromiv derzhavnoi aviatsii Ukrainy: Nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 1 lypnia 2013 r. № 441. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1229-13>.
8. SNyP 2.05.08-85 Aerodromy.
9. DBN V.2.2-XX:2022 Budivli ta sporudy. AERODROMY. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. <https://nau.edu.ua/site/variables/news/2022/Aerodromy.pdf>.

Дата надходження до редакції 16.05.2025