

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО
СТАНУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО
ІНТЕЛЕКТУ****EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MODERN METHODS FOR DIAGNOSING THE
OPERATIONAL CONDITION OF HIGHWAYS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE
TECHNOLOGIES**

Соколова Наталія Михайлівна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: nata_ns@ukr.net, тел. +380675872662

<https://orcid.org/0000-0003-0678-8882>



Козинець Владислав Сергійович, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна e-mail: hackev31@gmail.com, тел: +380957840710

<https://orcid.org/0000-0003-0378-6849>

Анотація. Метою статті є оцінка ефективності сучасних методів діагностики експлуатаційного стану автомобільних доріг та можливостей їх вдосконалення з використанням технологій штучного інтелекту. Розглянуто динаміку протяжності автомобільних доріг загального користування в Україні за 2017-2022 роки, що виявило незначні зміни в загальній довжині доріг із твердим покриттям та часткові коливання темпів приросту. Аналіз структури дорожнього покриття показав переважання асфальто-бетонних доріг, тоді як інші типи покриття мають незначну частку. Подальший аналіз розподілення доріг за категоріями вказав на більшу частку доріг III категорії, що свідчить про значну кількість доріг середньої якості, які потребують регулярного обслуговування. У межах дослідження також було розглянуто сучасні способи діагностики стану доріг, включаючи порівняння показників з нормативними значеннями, якісну оцінку кожного параметра та оцінку за узагальненим показником. Для кожного методу було проаналізовано переваги та недоліки. Було також проведено детальний огляд найбільш поширених пристроїв для діагностики доріг, таких як прогиноміри, дефлектометри та установки для візуального обстеження, що використовуються для визначення міцності, рівності, шорсткості та інших експлуатаційних якостей покриття. На основі

проведеного аналізу запропоновано впровадження технологій штучного інтелекту для підвищення точності оцінки стану доріг та автоматизації діагностичних процесів. Штучний інтелект здатний інтегрувати дані з різних джерел, зокрема датчиків, камер та супутників, і створювати комплексні моделі для прогнозування зносу покриття та визначення оптимальних термінів ремонтних робіт. Впровадження таких інновацій дозволить значно підвищити ефективність управління дорожньою інфраструктурою, знизити витрати на її обслуговування та підвищити безпеку для учасників дорожнього руху. У підсумку, розвиток технологій штучного інтелекту та їхнє застосування в діагностиці доріг стають важливим напрямом у покращенні якості дорожнього господарства та забезпеченні стійкого розвитку транспортної мережі.

Ключові слова: автомобільні дороги, експлуатаційний стан доріг, управління дорожньою інфраструктурою, методи діагностики, міцність покриття, штучний інтелект, автоматизація процесів

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Діагностика експлуатаційного стану автомобільних доріг є ключовим аспектом забезпечення безпеки дорожнього руху та ефективності транспортної інфраструктури. Традиційні методи оцінки стану доріг часто є трудомісткими, дорогими та не завжди дозволяють своєчасно виявляти проблеми, що може призводити до негативних наслідків, таких як аварії чи підвищені витрати на ремонт. В умовах зростання обсягів транспортних потоків і складності дорожньої мережі виникає необхідність у впровадженні сучасних методів діагностики, які б забезпечували високу точність і швидкість аналізу. Використання технологій штучного інтелекту відкриває нові можливості для автоматизації процесу діагностики, покращення точності прогнозів та зниження витрат. Проте, впровадження таких технологій вимагає ретельної оцінки їхньої ефективності, зокрема порівняння з існуючими методами та вивчення можливих недоліків. Важливим науковим завданням є розробка та адаптація алгоритмів штучного інтелекту, які зможуть працювати в умовах реального часу та враховувати різноманітні фактори, що впливають на стан дорожнього покриття. Практичне завдання полягає у впровадженні цих технологій у процес управління дорожньою інфраструктурою, що дозволить значно підвищити ефективність та якість експлуатації доріг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених оцінці ефективності діагностики автомобільних доріг, виявляє широкий спектр підходів до цієї теми. Ю. Б. Балашова у своїй роботі досліджує використання альтернативних матеріалів для дорожнього покриття, акцентуючи увагу на їх екологічних та економічних перевагах, що може значно вплинути на якість доріг та знизити витрати на їх будівництво [1]. Водночас, А. О. Безуглий зосереджується на теоретичних аспектах визначення розміру шкоди, завданої автомобільним дорогам внаслідок збройної агресії, що є актуальним питанням в умовах воєнного конфлікту, який впливає на стан інфраструктури України [2]. О. В. Беленчук досліджує питання безпеки автомобільних доріг, розробляючи методику визначення рейтингу безпеки для пріоритетного проведення перевірок, що може бути корисним для організації дорожніх ремонтів та покращення умов руху [3]. Нормативно-правові аспекти будівництва автомобільних доріг розглядає О. Є. Войтик, наголошуючи на необхідності дотримання стандартів та вимог при реалізації будівельних проектів, що є важливим для забезпечення якості та надійності доріг [4]. В. Б. Кисельов у своїй роботі звертає увагу на макроекономічний вплив дорожньої мережі, підкреслюючи, що ефективна інфраструктура є основою економічного зростання та розвитку країни. Інше важливе дослідження [5]. І. В. Кіяшко присвячене оцінюванню естетичної якості доріг, що є нетрадиційним аспектом, але важливим з точки зору комфортності для користувачів і зменшення візуального забруднення [6]. О. Ф. Лужицький досліджує

відновлення дорожнього покриття залежно від ступеня руйнування, пропонуючи методи для ефективного ремонту з урахуванням різних рівнів пошкоджень [7]. Не менш важливим є дослідження С. В. Неізнестного, який визначає період ефективного функціонування дороги, що дозволяє оптимізувати процеси планування ремонтів та знижувати витрати на утримання доріг [8]. В. Р. Сердюк зосереджується на післявоєнному відновленні та збільшенні обсягів будівництва, що є актуальним питанням для України в умовах сучасних викликів, спрямованих на відновлення інфраструктури [9]. А. О. Цинка працює над удосконаленням вимог до експлуатаційного стану доріг, що дозволяє забезпечити їх тривале та безпечне функціонування, враховуючи сучасні технологічні можливості [10]. Усі ці роботи відображають багатогранний підхід до вирішення проблем, пов'язаних із будівництвом, обслуговуванням та діагностикою автомобільних доріг, і підкреслюють необхідність подальших досліджень для підвищення ефективності дорожньої інфраструктури України.

Метою статті є оцінка ефективності сучасних методів діагностики експлуатаційного стану автомобільних доріг та можливостей їх вдосконалення з використанням технологій штучного інтелекту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження динаміки протяжності автомобільних доріг та їхнього розподілення за типом покриття і категоріями є важливим кроком у розумінні стану транспортної інфраструктури України. Проаналізуємо динаміку протяжності автомобільних доріг загального користування (Табл. 1).

Таблиця 1 – Динаміка протяжності автомобільних доріг загального користування в Україні за 2017-2022 рр.

Table 1 – Dynamics of the length of public roads in Ukraine for 2017-2022.

Рік	Всього автомобільних доріг, км	Темп приросту, %	Всього твердого покриття автомобільних доріг, км	Темп приросту, %	Частка твердого покриття, %
2017	46951,9	-	46929,79	-	99,95
2018	46598,3	-0,75	46576,1	-0,75	99,95
2019	46618,6	0,04	46596,4	0,04	99,95
2020	46654,1	0,08	46631,9	0,08	99,95
2021	46630,1	-0,05	46609,5	-0,05	99,96
2022	46630,1	0,00	46609,5	0,00	99,96

Джерело: сформовано на основі [11]

Протягом досліджуваного періоду відбувалися незначні зміни в загальній довжині автомобільних доріг, а також у частці доріг із твердим покриттям. Особливу увагу слід звернути на поступові коливання темпів приросту, що свідчить про вплив економічних та політичних чинників на дорожню інфраструктуру. У 2017 році загальна протяжність доріг складала 46951,9 км, а вже в 2022 році ця цифра дещо зменшилась до 46630,1 км. Зменшення показників у 2018 році пов'язане з недостатнім фінансуванням або змінами в політиці розвитку дорожньої інфраструктури. Проте у 2019-2020 роках спостерігається невеликий приріст, що свідчить про стабілізацію ситуації. Частка доріг із твердим покриттям залишалася стабільною на рівні 99,95%, що свідчить про високий рівень розвитку дорожньої мережі. Негативні темпи приросту в окремі роки пов'язані з економічними труднощами та відсутністю необхідних інвестицій. У 2021-2022 роках спостерігається стабілізація показників, що вказує на певну рівновагу в розвитку дорожньої інфраструктури, не зважаючи на складні умови війни.

Отже, загальна тенденція показує, що протягом аналізованого періоду розвиток дорожньої мережі був відносно стабільним з незначними коливаннями.

Розподілення автомобільних доріг загального користування за типом покриття та за категоріями наведена на рис.1.

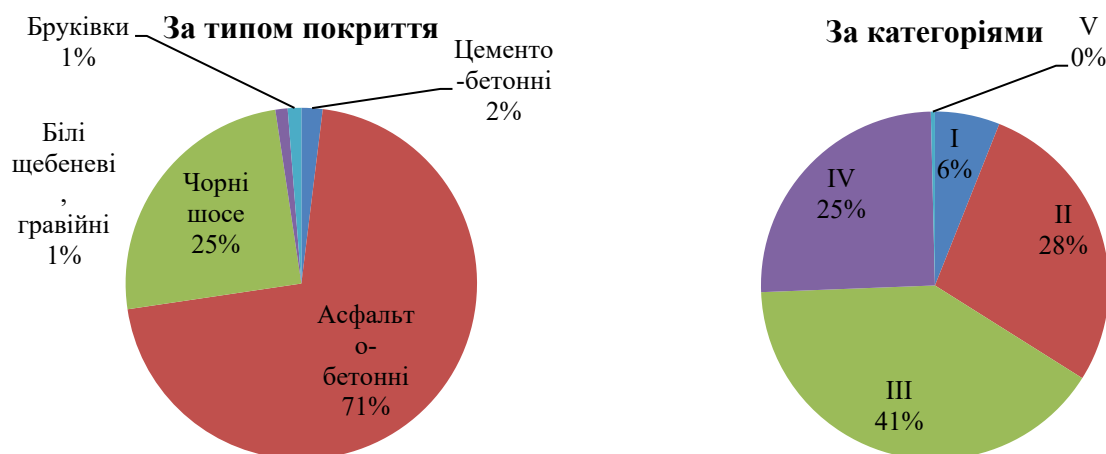


Рисунок 1 – Розподілення автомобільних доріг загального користування за типом покриття та за категоріями в Україні в 2022 р.

Джерело: сформовано на основі [11]

Figure 1 – Distribution of public highways by type of surface and by category in Ukraine in 2022.

Source: formed on the basis of [11]

Розподілення автомобільних доріг загального користування за типом покриття в 2022 році свідчить про домінування асфальто-бетонних доріг, які займають 70,71% від загальної кількості. Це вказує на те, що асфальто-бетон є основним матеріалом для будівництва доріг в Україні, забезпечуючи надійність і довговічність покриття. Чорні шосе займають друге місце з 24,98%, що також є вагомим показником для країни. Цементо-бетонні дороги складають лише 1,95%, що вказує на високу вартість будівництва та обмежене використання цього матеріалу в певних регіонах. Бруківки та білі щебеневі дороги займають найменшу частку, що свідчить про їх використання в менш завантажених або сільських районах. Така структура розподілу вказує на орієнтацію країни на будівництво доріг із високоякісним покриттям, що відповідає сучасним вимогам до дорожньої інфраструктури.

Розподіл доріг з твердим покриттям за категоріями в 2022 році свідчить про те, що найбільша частка припадає на дороги третьої категорії, які займають 40,46% від загальної кількості. Це дороги, які, як правило, використовуються для міжобласного сполучення та мають помірний рівень завантаженості. Дороги другої категорії займають 27,90%, що вказує на важливість таких доріг для регіонального сполучення. Дороги першої категорії, які є найвищого класу, займають лише 6,03%, що пов'язано з їх високою вартістю будівництва та обмеженим використанням у порівнянні з дорогами нижчих категорій. Дороги четвертої категорії складають 25,23%, що свідчить про їх значну частку в загальній мережі та використання для місцевих сполучень. П'ята категорія доріг займає найменшу частку з 0,38%, що вказує на їх обмежене застосування. Така структура розподілу доріг із твердим

покриттям за категоріями вказує на пріоритетність міжобласного та регіонального сполучення, а також на необхідність подальшого розвитку доріг першої категорії.

Середньозважене значення категорійності автомобільних доріг загального користування наведена на рис.2.

Середньозважене значення категорійності автомобільних доріг загального користування в Україні за 2017-2022 роки показує стабільну тенденцію до зниження з 3,72 у 2017 році до 2,86 у 2022 році, що свідчить про поступове поліпшення якості дорожньої мережі та підвищення частки доріг вищих категорій. У 2018 році спостерігається значне зниження цього показника до 2,87, що пов'язано з активними заходами щодо покращення стану доріг і будівництва нових об'єктів. Протягом наступних років цей показник залишається стабільним на рівні 2,87, що вказує на відсутність суттєвих змін у структурі дорожньої мережі.

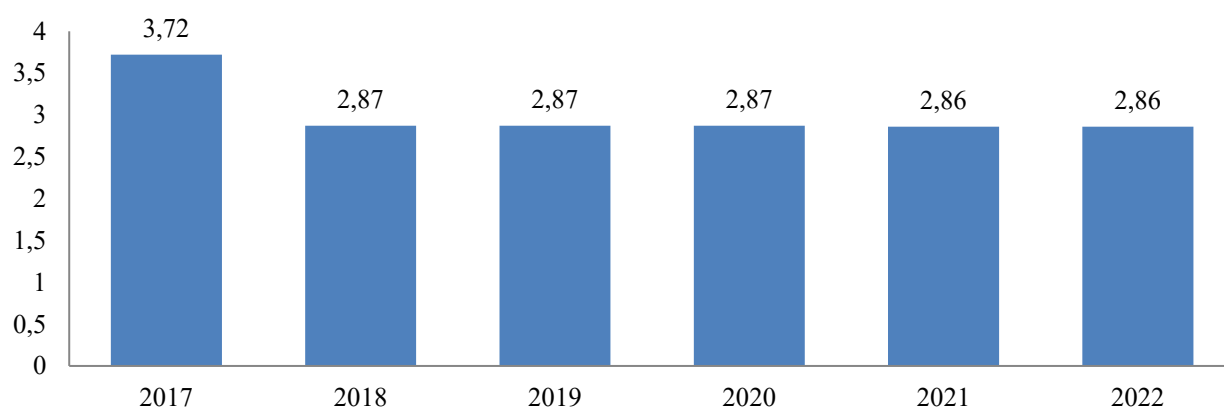


Рисунок 2 – Середньозважене значення категорійності автомобільних доріг загального користування в Україні за 2017-2022 рр.

Джерело: сформовано на основі [11]

Figure 2 – The weighted average value of the categorization of public highways in Ukraine for 2017-2022.

Source: formed on the basis of [11]

Середньозважене значення категорійності автомобільних доріг загального користування в Україні за 2017-2022 роки показує стабільну тенденцію до зниження з 3,72 у 2017 році до 2,86 у 2022 році, що свідчить про поступове поліпшення якості дорожньої мережі та підвищення частки доріг вищих категорій. У 2018 році спостерігається значне зниження цього показника до 2,87, що пов'язано з активними заходами щодо покращення стану доріг і будівництва нових об'єктів. Протягом наступних років цей показник залишається стабільним на рівні 2,87, що вказує на відсутність суттєвих змін у структурі дорожньої мережі. Лише в 2021 році середньозважене значення дещо знижується до 2,86, що є результатом подальших інвестицій у модернізацію доріг. Загалом, зниження середньозваженого значення категорійності доріг свідчить про тенденцію до підвищення якості дорожнього покриття, що позитивно впливає на транспортну інфраструктуру країни.

Проведений аналіз стану автомобільних доріг вказує на важливість їхнього своєчасного обслуговування та модернізації, що вимагає використання сучасних методів діагностики. Експлуатаційні якості дороги, такі як міцність, рівність, шорсткість, коефіцієнт зчеплення та знос покриття, є критично важливими для забезпечення безпеки руху та довговічності дорожнього полотна.

Міцність дороги визначає її здатність протистояти динамічним навантаженням від транспортних засобів, що зменшує ризик утворення тріщин та інших дефектів. Рівність покриття впливає на комфортність руху та знос транспортних засобів, адже нерівні поверхні можуть спричиняти підвищену вібрацію. Шорсткість дороги визначає її здатність забезпечувати надійне зчеплення між шинами автомобіля та покриттям, що є особливо важливим у несприятливих погодних умовах. Коефіцієнт зчеплення є показником сили тертя між колесами та дорогою, що впливає на ефективність гальмування та стабільність руху. Знос покриття з часом погіршує експлуатаційні якості дороги, тому своєчасний ремонт є необхідним для підтримання її функціональності [12, с.8]. Важливим є регулярний моніторинг цих параметрів для попередження небезпеки та зменшення витрат на ремонт. Експлуатаційні якості впливають також на економічні витрати, зокрема на паливну ефективність транспортних засобів та вартість технічного обслуговування. Чим кращі ці показники, тим більше часу дорога може експлуатуватися без необхідності капітального ремонту. В цілому, контроль і підтримання експлуатаційних якостей доріг є ключовим завданням для забезпечення надійної та безпечної транспортної мережі.

Способи діагностики експлуатаційного стану автомобільних доріг мають різні підходи до оцінки їхньої ефективності. Кожен спосіб має свої переваги і недоліки, що впливає на вибір методу залежно від конкретних умов і завдань. Важливо розглянути їхні особливості для вибору оптимального підходу до діагностики (табл.2).

Таблиця 2 – Способи діагностики експлуатаційного стану автомобільних доріг

Table 2 – Ways of diagnosing the operational condition of highways

Спосіб	Переваги	Недоліки
Порівняння показників з нормативними значеннями	Висока точність; стандартизованість; простота у використанні; мінімальні витрати.	Залежність від точності нормативів; не враховує індивідуальні особливості доріг; не передбачає глибокого аналізу; потребує актуалізації нормативів.
Якісна оцінка стану дорожнього одягу за кожним параметром	Глибокий аналіз стану кожного показника; можливість врахування індивідуальних особливостей; застосування сучасних технологій; гнучкість у використанні.	Трудомісткість; висока вартість; вимагає високої кваліфікації персоналу; необхідність спеціального обладнання.
Оцінка стану дорожнього одягу за узагальненим показником	Швидкість отримання результатів; комплексний підхід; можливість використання для великих площ; ефективність у плануванні ремонтних робіт.	Може бути неточним для окремих ділянок; вимагає детальної калібровки; необхідність спеціалізованого програмного забезпечення.

Джерело: сформовано на основі [13]

Аналіз способів діагностики експлуатаційного стану доріг показує, що кожен із них має свої специфічні переваги та обмеження. Порівняння показників з нормативними значеннями є простим і стандартизованим підходом, але він може не враховувати особливості окремих ділянок дороги, що може призвести до недооцінки ризиків. Якісна оцінка стану дорожнього одягу за кожним параметром забезпечує більш глибоке дослідження стану дороги, але вимагає значних ресурсів і спеціальних знань, що може обмежувати його застосування. Оцінка за узагальненим показником дозволяє швидко оцінити стан великих площ, але при цьому ризик втрати деталей на окремих ділянках може призвести до

недооцінки потенційних проблем. Вибір конкретного способу залежить від конкретної ситуації, наявних ресурсів та вимог до точності результатів. Комплексний підхід, який поєднує кілька способів, може бути найкращим рішенням для забезпечення надійної оцінки стану дороги. Такий підхід дозволяє врахувати всі необхідні фактори та зменшити ризики недооцінки проблем. Використання сучасних технологій у поєднанні з традиційними методами може значно підвищити ефективність діагностики.

Діагностика експлуатаційного стану доріг здійснюється за допомогою різноманітного обладнання, яке дозволяє оцінити всі ключові показники. Кожен метод має свою специфіку, яка відображає його основне призначення та практичне застосування. Розгляд цих методів дозволяє зрозуміти їхню роль у процесі забезпечення якості дорожнього полотна (табл.3).

Таблиця 3 – Методи діагностики експлуатаційного стану автомобільних доріг
Table 3 – Methods of diagnosing the operational state of highways

Метод	Сутність	Практичне застосування
Лабораторії по виміру рівності	Вимірювання рівності дорожнього покриття з використанням спеціальних датчиків.	Оцінка якості дорожнього покриття на нових ділянках та під час ремонту.
Визначення геометричних параметрів	Аналіз поперечного профілю та нахилу дороги.	Виявлення відхилень у проектних параметрах, що можуть вплинути на безпеку руху.
Визначення коефіцієнта зчеплення	Оцінка сили тертя між шинами та дорожнім покриттям.	Використовується для оцінки безпечності покриття в різних умовах, особливо у випадках дощу або льоду.
Прогиномири для визначення міцності дорожнього одягу	Вимірювання прогину дорожнього покриття під навантаженням.	Використовується для оцінки несучої здатності дороги та необхідності її ремонту.
Устаткування для візуального обстеження доріг	Візуальна оцінка стану поверхні дороги.	Використовується для швидкого виявлення дефектів та планування ремонтних робіт.

Джерело: сформовано на основі [13]

Різнманітні методи діагностики експлуатаційного стану доріг дозволяють отримати повну картину про якість та безпечність дорожнього полотна. Лабораторії по виміру рівності є незамінними при оцінці нових доріг або після капітальних ремонтів, забезпечуючи відповідність покриття нормативним стандартам. Визначення геометричних параметрів дозволяє своєчасно виявляти відхилення, що можуть вплинути на комфорт і безпеку руху, особливо на складних ділянках дороги. Коефіцієнт зчеплення є важливим показником, який безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху, особливо у складних погодних умовах. Прогиномири для визначення міцності дорожнього одягу дозволяють оцінити несучу здатність покриття та прийняти рішення щодо необхідності проведення ремонтних робіт. Устаткування для візуального обстеження доріг є швидким і ефективним методом для виявлення поверхневих дефектів, таких як тріщини або вибоїни, що потребують негайного втручання. Комбіноване використання цих методів дозволяє забезпечити високу якість і безпеку доріг, знижуючи витрати на подальші ремонти. Використання сучасних технологій та обладнання підвищує точність і швидкість діагностики, що є важливим фактором у підтриманні дорожньої інфраструктури на належному рівні. Результати діагностики також дозволяють ефективно планувати заходи з утримання доріг, оптимізуючи витрати та забезпечуючи їхню довговічність. Таким чином, діагностика є ключовим етапом у процесі управління дорожньою інфраструктурою.

Серед значної кількості пристроїв для діагностики експлуатаційного стану автомобільних доріг найбільш часто використовуються різноманітні прогиноміри та дефлектометри. Довгобазовий прогиномір, зокрема балка Бенкельмана, є одним із найстаріших і широко використовуваних інструментів, що дозволяє вимірювати прогини дорожнього покриття під навантаженням, визначаючи таким чином його міцність. Дефлектограф Lacroix є більш сучасним варіантом, який дозволяє проводити вимірювання на значних площах дорожнього покриття з високою швидкістю, що робить його ефективним для великих проєктів. Установка SPA (Seismic Pavement Analyzer) використовує сейсмічні хвилі для визначення внутрішніх дефектів у дорожньому покритті, що дозволяє виявляти потенційні проблеми на ранніх стадіях. Динамічні прогиноміри, такі як установки Dynaflect та Road Rater, використовуються для оцінки міцності дорожнього полотна за допомогою динамічних навантажень, що дозволяє отримати більш точні дані в умовах реальної експлуатації. Дефлектометр падаючого вантажу (FWD) є одним із найсучасніших інструментів, який дозволяє моделювати навантаження від транспортних засобів і отримувати точні дані про стан дороги. Установки УДН та УДНнНК використовуються для визначення дефектів на поверхні та у внутрішніх шарах покриття, що є важливим для комплексної оцінки стану дороги. Установка ДИНА-3М є універсальним інструментом, що поєднує кілька методів діагностики, дозволяючи отримувати комплексні дані про стан дорожнього покриття. Установка TSD (Traffic Speed Deflectometer) є інноваційним рішенням, що дозволяє проводити діагностику дорожнього покриття на високих швидкостях без зупинки руху, що значно знижує витрати часу та коштів на дослідження. Використання цих пристроїв дозволяє забезпечити високу якість та ефективність діагностики, що є ключовим чинником у підтриманні дорожньої інфраструктури на належному рівні.

Традиційні підходи до оцінки стану дорожнього покриття можуть бути неефективними, враховуючи складність і масштабність дорожньої мережі. Використання штучного інтелекту в процесі діагностики відкриває нові можливості для підвищення точності і швидкості виявлення дефектів. Це дозволяє забезпечити своєчасне втручання, знижуючи ризики для безпеки та зменшуючи витрати на утримання доріг. Отже, інтеграція сучасних методів діагностики із застосуванням технологій штучного інтелекту стає необхідною умовою ефективного управління дорожньою інфраструктурою.

Використання штучного інтелекту для діагностики стану автомобільних доріг відкриває нові можливості для підвищення точності оцінки та ефективності обслуговування дорожньої інфраструктури. Традиційні методи діагностики, такі як прогиноміри, дефлектометри та інші прилади, забезпечують високий рівень точності, але мають свої обмеження, пов'язані з тривалістю процесу, високою вартістю та необхідністю залучення кваліфікованих фахівців. Технології штучного інтелекту можуть значно прискорити процес обробки даних, автоматизувати їхній аналіз і забезпечити виявлення аномалій у дорожньому покритті на ранніх стадіях. Використання машинного навчання дозволяє системам адаптуватися до змінних умов експлуатації доріг, враховуючи різноманітні фактори, такі як погодні умови, інтенсивність руху та тип покриття. Крім того, штучний інтелект може об'єднувати дані з різних джерел, наприклад, з датчиків, камер та супутникових зображень, що дозволяє створити комплексну модель стану дорожньої мережі. Застосування алгоритмів для прогнозування зносу покриття та визначення оптимальних термінів для проведення ремонтних робіт може суттєво знизити витрати на обслуговування доріг та підвищити їхню безпеку. Використання штучного інтелекту також може забезпечити інтеграцію з системами управління дорожнім рухом, що дозволить своєчасно виявляти проблемні ділянки та оперативно реагувати на виникаючі загрози. Автоматизація процесів діагностики зменшить людський фактор і ймовірність помилок, що підвищить загальний рівень якості

обслуговування дорожньої інфраструктури. Технології штучного інтелекту можуть також сприяти розвитку автономних систем діагностики, які будуть здатні проводити регулярні обстеження доріг без втручання людини, що особливо важливо в умовах зростаючого навантаження на дорожні мережі. У результаті, впровадження штучного інтелекту в діагностику доріг дозволить значно покращити якість управління дорожньою інфраструктурою, знижуючи витрати та підвищуючи безпеку для всіх учасників дорожнього руху.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Аналіз протяжності та розподілення автомобільних доріг загального користування в Україні за 2017-2022 роки демонструє відносну стабільність у розвитку дорожньої мережі. Незважаючи на незначні коливання в темпах приросту, загальна тенденція свідчить про збереження високого рівня частки доріг із твердим покриттям. Розподіл доріг за типами покриття вказує на переважне використання асфальто-бетону, що є найбільш поширеним матеріалом для будівництва доріг в Україні. Категорійність доріг також відображає баланс між різними рівнями інтенсивності руху та важливості сполучень, зокрема переважання доріг третьої та другої категорій. Середньозважене значення категорійності доріг демонструє тенденцію до покращення якості дорожньої мережі, що є позитивним показником розвитку інфраструктури.

Проведений аналіз показав, що сучасні методи діагностики мають свої переваги, проте їхня ефективність обмежена тривалістю процесу та високими витратами. У відповідь на ці виклики пропонується використання технологій штучного інтелекту, які можуть значно підвищити точність діагностики та оптимізувати процеси обслуговування доріг. Штучний інтелект здатний автоматизувати обробку даних, зменшити людський фактор і забезпечити комплексний підхід до оцінки стану дорожньої інфраструктури. Крім того, він може інтегрувати різні джерела інформації для точнішого прогнозування зносу покриття та оптимізації ремонтних робіт. Використання штучного інтелекту у діагностиці дозволить не лише підвищити безпеку дорожнього руху, але й значно знизити витрати на утримання доріг. Таким чином, впровадження інноваційних технологій стане ключовим чинником у майбутньому розвитку дорожньої інфраструктури.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці та впровадженні автономних систем діагностики доріг на основі штучного інтелекту.

Перелік посилань

1. Балашова Ю. Б. Альтернативні матеріали для покриттів автомобільних доріг. Український журнал будівництва та архітектури. 2023. № 2. С. 7-18.
2. Безуглий А. О. Теоретичні аспекти та методичні підходи до визначення розміру шкоди та збитків, завданих автомобільним дорогам внаслідок збройної агресії. Дороги і мости. 2023. № 28. С. 19-27.
3. Беленчук О. В. Визначення рейтингу безпеки автомобільних доріг для обрання пріоритетності проведення їх перевірки безпеки. Дороги і мости. 2022. № 25. С. 222-230.
4. Войтик О. Є. Нормативно-правові аспекти будівництва автомобільних доріг. Демократичне врядування. 2023. № 2. С. 126-136. -
5. Кисельов В. Б. Макроекономічний вплив мережі автомобільних доріг України. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. 2022. № 4. С. 253-259.
6. Кіяшко, І. В. Методика оцінювання естетичної якості автомобільних доріг. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2019. № 86. С. 156-161.
7. Лужицький О. Ф. Відновлення дорожнього покриття залежно від ступеня руйнування

автомобільної дороги. Наука та прогрес транспорту. 2023. № 2. С. 29-44.

8. Неизвестний С. В. Визначення періоду ефективного функціонування автомобільної дороги. Дороги і мости. 2023. № 27. С. 245-252.

9. Сердюк В. Р. Післявоєнне відновлення та зростання обсягів будівництва автомобільних доріг. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. № 2. С. 177-184.

10. Цинка А. О. Удосконалення вимог до експлуатаційного стану автомобільних доріг. Дороги і мости. 2023. № 28. С. 80-91.

11. Дані щодо техніко-експлуатаційного стану автомобільних доріг загального користування державного значення в розрізі автомобільних доріг, у тому числі із зазначенням категорії, пікотної прив'язки автомобільної дороги, геометричних та технічних характеристик, показників рівності та міцності, обсяг руйнувань. URL: <https://data.gov.ua/dataset/beca8aa5-96a9-46be-ade7-f1b400213af5>

12. Кровяков С.О. Наукові основи довговічності в будівництві та експлуатації автомобільних доріг та аеродромів: конспект лекцій. Одеса, 2020. 59 с.

13. Кашканов, А. А. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 113 с.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MODERN METHODS FOR DIAGNOSING THE OPERATIONAL CONDITION OF HIGHWAYS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

Sokolova Natalia M., PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of Transport Construction and Property Management, Associate Professor, National University of Transport, Kyiv, Ukraine e- mail: nata_ns@ukr.net, тел. +380675872662, <https://orcid.org/0000-0003-0678-8882>

Kozynets Vladislav S., Postgraduate student, National University of Transport, Kyiv, Ukraine, Україна e- mail: hackev31@gmail.com, тел. +380957840710, <https://orcid.org/0000-0003-0378-6849>

Summary. The purpose of the article is to assess the effectiveness of modern methods of diagnosing the operational condition of roads and the possibilities of their improvement using artificial intelligence technologies. The dynamics of the length of public roads in Ukraine for 2017-2022 is considered, which revealed insignificant changes in the total length of paved roads and partial fluctuations in the growth rate. The analysis of the road surface structure showed the predominance of asphalt-concrete roads, while other types of pavement have a small share. A further analysis of the distribution of roads by category showed a higher share of category III roads, which indicates a significant number of medium quality roads that require regular maintenance. The study also examined modern methods of diagnosing the condition of roads, including comparison of indicators with standard values, qualitative assessment of each parameter, and assessment by a generalized indicator. The advantages and disadvantages of each method were analyzed. A detailed review of the most common road diagnostic devices, such as deflectometers, deflectometers and visual inspection units used to determine the strength, flatness, roughness and other operational qualities of the pavement, was also conducted. Based on the analysis, it is proposed to introduce artificial intelligence technologies to improve the accuracy of road condition assessment and automate diagnostic processes. Artificial intelligence is able to integrate data from various sources, including sensors, cameras and satellites, and create complex models to predict pavement wear and determine the optimal timing of repairs. The introduction of such innovations will significantly increase the efficiency of road infrastructure management, reduce maintenance costs and improve safety for road users. As a result, the development of

artificial intelligence technologies and their application in road diagnostics is becoming an important area for improving the quality of road infrastructure and ensuring the sustainable development of the transport network.

Keywords: roads, road operational condition, road infrastructure management, diagnostic methods, pavement strength, artificial intelligence, process automation

References

1. Balashova, Y.B. (2023), "Alternative materials for road surface", *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, no. 2, pp. 7-18.
2. Bezuhlyi, A.O. (2023), "Theoretical aspects and methodological approaches to determining the amount of damage and losses caused to roads due to armed aggression", *Dorohy i mosty*, no. 28, pp. 19-27.
3. Belenchuk, O.V. (2022), "Determination of road safety ranking for prioritizing safety inspections", *Dorohy i mosty*, no. 25, pp. 222-230.
4. Voityk, O.Ye. (2023), "Regulatory and legal aspects of road construction", *Demokratychnе vryaduvannia*, no. 2, pp. 126-136.
5. Kyseliiov, V.B. (2022), "Macroeconomic impact of the road network in Ukraine", *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho*, no. 4, pp. 253-259.
6. Kyiashko, I.V. (2019), "Methodology for assessing the aesthetic quality of roads", *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, no. 86, pp. 156-161.
7. Luzhyskyi, O.F. (2023), "Restoration of road surface depending on the degree of road damage", *Nauka ta prohres transportu*, no. 2, pp. 29-44.
8. Neizvestnyi, S.V. (2023), "Determination of the period of effective operation of a road", *Dorohy i mosty*, no. 27, pp. 245-252.
9. Serdiuk, V.R. (2023), "Post-war restoration and growth of road construction volumes", *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, no. 2, pp. 177-184.
10. Tsynka, A.O. (2023), "Improving requirements for the operational condition of roads", *Dorohy i mosty*, no. 28, pp. 80-91.
11. Dani shchodo tekhnо-ekspluatatsiinoho stanu avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia derzhavnoho znachennia v rozryzi avtomobilnykh dorih, u tomu chysli iz zaznachenniam katehoriï, piketnoi pryviazky avtomobilnoi dorohy, heometrichnykh ta tekhnichnykh kharakterystyk, pokaznykiv rivnosti ta mitsnosti, ob'iem ruinuvannia, "Technical and operational condition data of public state roads by category, alignment, geometric and technical characteristics, evenness and strength indicators, and damage volume", available at: <https://data.gov.ua/dataset/beca8aa5-96a9-46be-ade7-f1b400213af5> (Accessed 1 Sept 2024)
12. Krovjakov, S.O. (2020), "Scientific foundations of durability in the construction and operation of roads and airfields: lecture notes", Odesa, 59 p.
13. Kashkanov, A.A. (2017), "Transport and operational qualities of roads and urban streets: textbook", Vynnytsia: VNTU, 113 p.