

М. Ю. Крайнюк, О. В. Щербак

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН

*Механізація будівельного сектора потребує вдосконалення експлуатаційних характеристик машин, зокрема мінімізації шумового впливу, що виникає через взаємодію робочих органів із середовищем. Надмірний шум знижує комфорт роботи оператора та впливає на надійність техніки. Дослідження спрямоване на розробку методів оцінки та прогнозування рівня шуму, що генерується дорожньо-будівельними машинами.*

**Ключові слова:** *грейдер, нейронні мережі, прогнозування, інтелектуальні технології, точність вимірювання, моніторинг, технічні системи, інноваційні технології, датчики, екологічна безпека.*

### Постановка проблеми

Механізація аграрного та будівельного секторів сприяє зростанню продуктивності, проте водночас ставить нові виклики щодо вдосконалення експлуатаційних характеристик машин. Одним із важливих аспектів їх ефективного використання є мінімізація шумового впливу, що виникає внаслідок взаємодії робочих органів машин із середовищем та особливостей кінематичних і динамічних параметрів. Надмірний рівень шуму не лише знижує комфорт роботи оператора, але й може негативно впливати на надійність та довговічність конструктивних елементів техніки.

Актуальність цього дослідження обумовлена необхідністю розробки методів оцінки та прогнозування рівня шуму, що генерується дорожньо-будівельними машинами, з урахуванням їх конструктивних особливостей, робочих режимів та умов експлуатації. Отримані результати сприятимуть оптимізації параметрів машин, підвищенню їх ефективності та зниженню впливу шумового навантаження на оператора, що є важливим завданням у проектуванні сучасних землерийних і дорожніх машин.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Рівень шуму дорожньо-будівельних машин впливає на комфорт роботи, технічний стан механізмів і безпеку операторів [1]. Взаємодія робочих органів із ґрунтом створює віброакустичні навантаження, що можуть знижувати довговічність конструкцій. Інтенсивний шум спричиняє втрату слуху, стрес і негативно впливає на навколишнє середовище [2].

Будівництво дорожньої інфраструктури

використовує важку техніку, що спричиняє високий рівень шумового забруднення. Рівень шуму під час роботи дорожньо-будівельних машин часто перевищує допустимі норми. Наприклад, при забиванні паль шум може досягати 108 дБА, а пневматичні інструменти працюють у межах 85–90 дБА [3]. Турецькі дослідники встановили, що середні рівні шуму від бульдозерів коливаються від 73,87 до 84,11 дБА, а пікові значення сягають 95,90–113,40 дБА [4].

Надмірний рівень шуму впливає не тільки на оператора [5], а й на довговічність механізмів, сприяючи їх зносу. Коливання та вібрації можуть викликати розхитування з'єднань і прискорювати втомні пошкодження деталей. У дослідженні Sehshah та ін. [6] максимальні рівні шуму в кабіні тракториста становили 98,2 дБ та 92 дБ, що перевищує норми ВООЗ, при цьому рівень шуму біля вуха оператора значно перевищував показники на відстані [7, 8].

Негативний вплив шуму на персонал підтверджується численними дослідженнями. Наприклад, серед дорожніх будівельників у 45 % респондентів зафіксовані ознаки погіршення слуху [4]. Мелемез і Тунай [9] дослідили рівні шуму від 145 сільськогосподарських машин, де акустичне навантаження варіювалося від 76 до 105 дБ. Безкабінні трактори створюють шум до 93,5 дБ, а трактори з кабінами – лише 77 дБ, що підкреслює потребу в додаткових шумозахисних технологіях.

Бехрузі Лар та ін. [7] дослідили вплив конструкції тракторів Massey Ferguson 399 і Valtra T 170 на рівень шуму. У безкабінному тракторі середній рівень шуму на рівні вуха оператора становить 94,5 дБ для Massey Ferguson і 92,7 дБ для Valtra, що значно перевищує рекомендовані 85 дБ.

Дослідження Лашгарі та Малекі [8] показало, що рівень шуму залежить від конструктивних особливостей техніки та робочих режимів. Кореляція між акустичним тиском і частотою обертання двигуна висока ( $R^2 = 0,99$ ). Використання шумозахисних кабін знижує шум на 30,5 %. На високих обертах шум перевищує рівень на низьких на 6,9–11,1 %.

Дослідження Monazzam та ін. [10] показало, що рівень шуму залежить від режиму роботи двигуна. Вихлопна система на холостому ходу є основним джерелом шуму, а збільшення обертів з 850 до 1700 об/хв підвищує звуковий тиск біля вуха оператора з 5,8 до 9,3 дБ, а на відстані – з 2,3 до 10,3 дБ.

Hassan-Beygi та ін. [11] застосували штучні нейронні мережі для прогнозування шуму від румпеля 13 к.с. Різниця між прогнозованими та фактичними значеннями склала лише 2 дБ, що підтверджує ефективність цього методу для аналізу шуму дорожньо-будівельних машин.

Розроблено автоматизовану модель, що в реальному часі прогнозує рівень шуму та оцінює його коротко- і довгостроковий вплив на механізми та персонал [12].

Метою дослідження є розробка інтелектуальних технологій для оптимізації роботи дорожньо-будівельних машин із урахуванням шумового забруднення. Використовуючи методи машинного навчання, планується моделювати рівні шуму та вивчати їх вплив на експлуатаційні характеристики техніки, операторів та довкілля.

Завданням є аналіз методів вимірювання шуму в реальних умовах, розробка методології оцінки шумового навантаження в різних режимах роботи машин і створення моделей для прогнозування акустичних характеристик. Результати допоможуть розробити рекомендації щодо впровадження інтелектуальних технологій для зниження шуму в дорожньому будівництві.

### Виклад основного матеріалу

У таблиці 1 наведено перелік українських та міжнародних стандартів, що регламентують вимірювання, оцінку та контроль шуму, зокрема в контексті роботи дорожньо-будівельних машин.

### Формулювання мети статті

Таблиця 1

Українські та міжнародні нормативні документи, що регулюють вимірювання шуму, його оцінку та контроль (складено авторами)

| Назва та номер                     | Опис                                                                                            | Застосування                                                                                |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Українські стандарти               |                                                                                                 |                                                                                             |
| ДСТУ ISO 1996-1                    | Акустика. Опис, вимірювання та оцінювання шуму довкілля. Основні величини та методи оцінювання. | Вимірювання шуму в навколишньому середовищі (еквівалентний рівень, спектральний склад).     |
| ДСТУ ISO 1996-2                    | Акустика. Оцінювання рівнів шуму.                                                               | Оцінювання еквівалентного рівня шуму та способи обробки даних.                              |
| ДСТУ EN 61672-1                    | Електроакустика. Шумоміри. Вимоги до точності.                                                  | Регламентує характеристики шумомірів для забезпечення точності вимірювань.                  |
| ДСТУ EN 61672-2                    | Електроакустика. Шумоміри. Методи випробування.                                                 | Методи перевірки та калібрування шумомірів.                                                 |
| СанПіН 4630                        | Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.                                    | Регулювання рівнів шуму на робочих місцях.                                                  |
| ДБН В.1.1-31                       | Захист територій, будівель і споруд від шуму.                                                   | Вимоги до звукоізоляції будівель для захисту населення від шуму.                            |
| Міжнародні стандарти               |                                                                                                 |                                                                                             |
| ISO 1996-1                         | Опис і методи вимірювання шуму довкілля.                                                        | Основні методики для вимірювання шуму.                                                      |
| ISO 1996-2                         | Оцінювання рівнів шуму в довкіллі.                                                              | Оцінювання еквівалентного рівня шуму.                                                       |
| ISO 1996-3                         | Точність вимірювання шуму в різних умовах.                                                      | Деталізація точності вимірювальних даних.                                                   |
| IEC 61672-1                        | Електроакустика. Шумоміри. Вимоги до точності.                                                  | Регламентує характеристики шумомірів для міжнародного використання.                         |
| IEC 61672-2                        | Електроакустика. Методи випробування шумомірів.                                                 | Методи перевірки та калібрування шумомірів.                                                 |
| WHO Environmental Noise Guidelines | Рекомендації ВООЗ щодо впливу шуму на здоров'я населення, 2018                                  | Установлює допустимі рівні шуму для захисту здоров'я.                                       |
| EU Directive 2002/49/EC            | Директива про шум Європейського Союзу.                                                          | Регулювання шумового забруднення на території ЄС (моніторинг, картографування, планування). |

Стандарти описують методи та вимоги до вимірювального обладнання, зокрема шумомірів, для забезпечення точності результатів та мінімізації впливу шуму на операторів і довкілля. Це дозволяє вибирати нормативи в залежності від умов експлуатації машин. В Україні рекомендується використовувати ДСТУ ISO 1996-1 та ДБН В.1.1-31. Якщо обладнання відповідає міжнародним стандартам IEC, слід дотримуватися IEC 61672. Вплив шуму на здоров'я оцінюється за рекомендаціями ВООЗ і директивами ЄС. Сучасні методи вимірювання дозволяють ефективно оцінювати рівень шуму, а інтеграція інтелектуальних систем передбачає автоматизацію аналізу та прогнозування.

Дослідження проводилось на автогрейдері ДЗ-99, що використовувався для відновлення доріг у Харкові. Здійснено понад 300 вимірювань шуму за допомогою шумоміра Benetech GM1351 у різних режимах роботи машини: як у кабіні водія, так і в зоні навколо машини. Методика включала налаштування шумоміра на А-частотну характеристику, використання повільного часу відгуку та стабілізацію роботи техніки перед вимірюваннями.

Місце вимірювань відповідало стандартам ISO 7216 та ISO 5131: рівна, відкрита місцевість без відображень звуку в радіусі 50 м. Температура ( $16,5$

$\pm 1$ ) °C, швидкість вітру ( $3,0 \pm 1$ ) м/с, відсутність опадів та низький фоновий шум забезпечували точність результатів.

Збір та обробка даних здійснювались згідно з міжнародними стандартами. Результати оброблялись статистичними методами для коригування похибок, а подальший аналіз проводився за допомогою програмного забезпечення для графічного відображення та фільтрації даних. Отримані результати використовувались для створення нейромережі, здатної прогнозувати рівень шуму від дорожньо-будівельних машин.

### Експериментальне дослідження

Для аналізу вимірювань рівня шуму розраховано статистичні показники: середнє значення, стандартне відхилення та відносна похибка. У результаті розрахунків (табл. 2) видно, що з відстанню зменшуються як середній рівень шуму, так і його стандартне відхилення, що свідчить про зменшення варіабельності вимірювань.

На рисунку 1 показано стандартне відхилення рівня шуму на різних відстанях для двох режимів роботи грейдера. Стандартне відхилення зменшується з відстанню для обох режимів роботи, причому для 2500 обертів на малих відстанях воно вище, а з відстанню зменшується швидше.

Таблиця 2

Результати розрахунку похибки (Для 1800 і 2500 обертів на відстанях 0.1 м, 5 м, 10 м)

| Відстань (м) | Середнє значення (дБ) | Стандартне відхилення (дБ) | Відносна похибка (%) | Рівень шуму з похибкою (дБ) |
|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1800 обертів |                       |                            |                      |                             |
| 0.1          | 96.51                 | 3.42                       | 3.54                 | $96.51 \pm 2.46$            |
| 5            | 88.03                 | 3.32                       | 3.77                 | $88.03 \pm 2.37$            |
| 10           | 68.79                 | 1.34                       | 1.95                 | $68.79 \pm 0.95$            |
| 2500 обертів |                       |                            |                      |                             |
| 0.1          | 100.92                | 4.53                       | 4.49                 | $100.92 \pm 3.22$           |
| 5            | 89.5                  | 2.93                       | 3.27                 | $89.5 \pm 2.08$             |
| 10           | 73.21                 | 1.32                       | 1.80                 | $73.21 \pm 0.94$            |

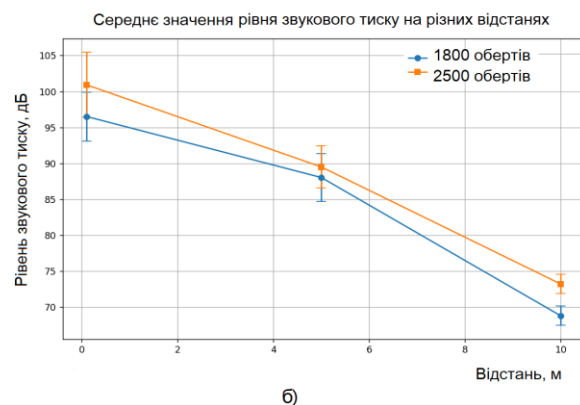
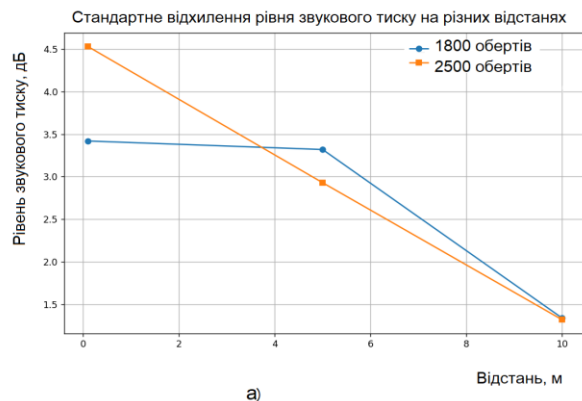


Рис. 1. Стандартне відхилення (а) та середнє значення (б) рівня шуму на різних відстанях

Результати показують, що відстань впливає на варіабельність вимірювань рівня шуму: на малих

відстанях варіабельність більша, на більших — більш стабільні. З відстанню зменшується як середній рівень шуму, так і стандартне відхилення, що свідчить про зменшення варіабельності вимірювань. Відносна похибка також зменшується, що вказує на більшу стабільність вимірювань на більших відстанях. Ці результати важливі для розробки заходів зменшення шумового забруднення.

### Дисперсійний аналіз

Для оцінки впливу різних факторів на рівень шуму грейдера застосовано дисперсійний аналіз (ANOVA). Враховані такі фактори: розташування мікрофона, оберти двигуна та передаточне число.

Рис. 2а ілюструє внесок кожного фактору у загальну суму квадратів. Розташування мікрофона має найбільший внесок (понад 80%), що підкреслює його ключову роль. Передаточне число займає друге

місце (приблизно 15%), а оберти двигуна мають мінімальний вплив (близько 1,5%). Взаємодії між факторами також статистично значущі, але їхній внесок мінімальний. Помилка складає менше 1% варіації, що свідчить про надійність моделі. Результати можна представити у вигляді таблиць або кругової діаграми.

Графік F-статистик (рис. 2б) демонструє порівняння значущості різних факторів, де вищі значення вказують на більший вплив факторів на модель. Така діаграма дозволяє виокремити найбільш значущі фактори та їх взаємодії.

Найбільш значущими факторами є розташування мікрофону та передатне число. Для детальнішого аналізу їх взаємодії використано тривимірний графік, що демонструє вплив зміни кожного з трьох факторів — мікрофона, обертів двигуна та рівня шуму (рис. 3).



Рис. 2. Внесок факторів у варіацію рівня звуку грейдера (а) та порівняння значущості факторів за F-статистиками

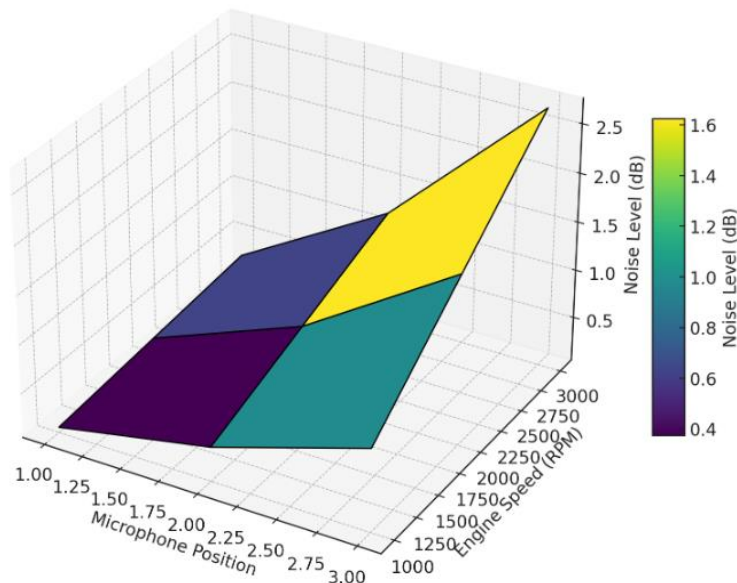


Рис. 3. Взаємодія між трьома факторами: мікрофон, оберти двигуна, передаточне число

Мала помилка ( $MS=0.054$ ) свідчить про високий рівень якості даних. Загальний вплив факторів значною мірою пояснює варіативність шуму. Помилка відображає залишкову

варіативність, що не пояснюється основними факторами або їх взаємодіями, і виникає через неконтрольовані фактори, похибки вимірювань чи випадковість.

Шум грейдера залежить від розташування мікрофона, обертів двигуна, передаточного числа та їх взаємодій. У експерименті змінювались параметри: відстань вимірювання, оберти двигуна (регулювання акселератором або ручним регулятором) та передаточне число (перемикання передач). Результати підтверджують значний вплив цих факторів і їх взаємодій на рівень шуму.

### Частотний аналіз

З підвищенням частоти обертів двигуна рівень шуму змінюється залежно від частотного діапазону. Найвища чутливість людського слуху знаходиться в діапазоні від 2000 до 5000 Гц, з піком на 4000 Гц. На низьких та середніх частотах (31,5–2000 Гц) рівень шуму варіюється більше, тоді як на високих частотах (2000–8000 Гц) коливання зменшуються.

У грейдері середнє збільшення рівня шуму при підвищенні частоти обертів двигуна становить 4,88 дБ. При зміні частоти обертів з 1800 об/хв до 2500 об/хв рівень шуму на низьких частотах значно зростає. Однак на частотах вище 600 Гц рівень шуму стабілізується на рівні близько 72 дБ. Це свідчить про

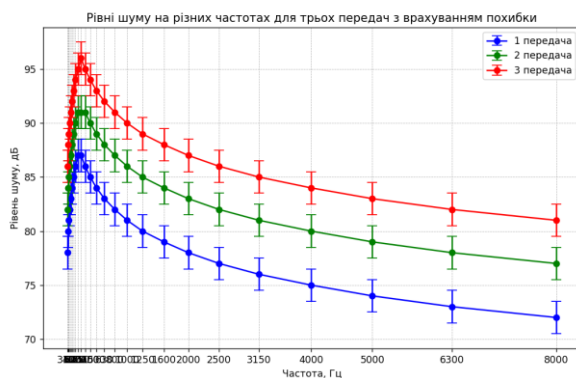


Рис. 4 Залежність рівня шуму від частоти для трьох передач

### Аналіз даних за допомогою нейронної мережі

У дослідженні проведено аналіз рівнів шуму, що генерується грейдером, залежно від швидкості двигуна та відстані до точки вимірювання. Використано методи машинного навчання, зокрема нейронну мережу типу MLPRegressor.

Етапи дослідження:

- Збір і обробка даних. Зібрано дані про рівень шуму, очищено від аномалій та нормалізовано.
- Створення і навчання моделі. Модель MLPRegressor з одним прихованим шаром (від 3 до

інтерференційні явища та зміни акустичних характеристик. Рисунок 4 ілюструє цю залежність.

Збільшення передачі у механізмі грейдера підвищує рівень шуму через зростання вібрацій і навантажень на колеса, що впливає на шумову небезпеку для оператора.

Вплив відстані між мікрофоном та джерелом звуку показує спектрограму на рисунку 5. Зі збільшенням відстані (з 5 м до 10 м) рівень шуму знижується через втрату енергії звукових хвиль. Максимальний рівень звукового тиску для грейдера ДЗ-99 біля вуха оператора досягає 104 дБ на частоті 31,5 Гц, що вказує на значну акустичну небезпеку. З підвищенням частоти до 4000–8000 Гц рівень шуму поступово зменшується, що можна пояснити поглинанням хвиль та зменшенням енергії на високих частотах.

Цей аналіз підкреслює важливість врахування акустичних характеристик при експлуатації техніки для мінімізації ризиків для здоров'я операторів і зниження впливу на навколишнє середовище.

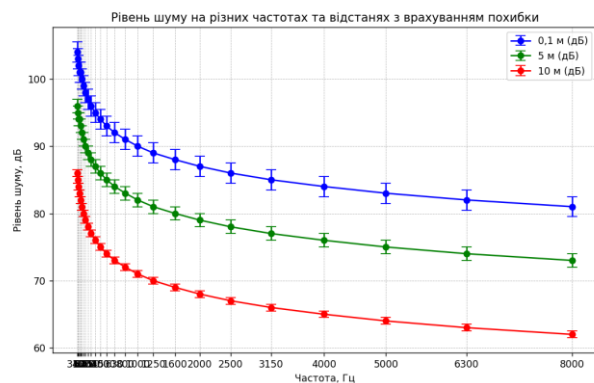


Рис. 5 Рівень шуму на різних частотах та відстанях з врахуванням похибки

10 нейронів), дані поділено на тренувальну (80%) і тестову (20%) вибірки.

– Оцінка точності. Порівняно прогнозовані та реальні значення.

Результати аналізу показали, що найкращі результати досягнуто при конфігураціях 3-8-1, 3-9-1 і 3-10-1 (перше число – кількість входів, друге (від 3 до 10) – кількість нейронів у прихованому шарі, і останнє (1) – кількість нейронів у вихідному шарі, пов'язаних з рівнем шуму, що генерується технікою), з середньоквадратичною похибкою ~0.009 та коефіцієнтом кореляції  $r = 0.9999$ . Це свідчить про високу точність моделі.

Рисунок 6 показує порівняння фактичних та



прогнозованих рівнів шуму, що підтверджує високу точність прогнозування моделі. Графіки (рис. 7, 8) демонструють, що зі збільшенням кількості нейронів точність зростає, але після 8-10 нейронів ефективність моделі стабілізується.

Результати підтверджують ефективність нейронних мереж для прогнозування рівнів шуму

дорожньо-будівельної техніки. Подальші дослідження можуть включати додаткові фактори, такі як тип покриття та температура, а також вдосконалення алгоритмів для зменшення перенавчання.

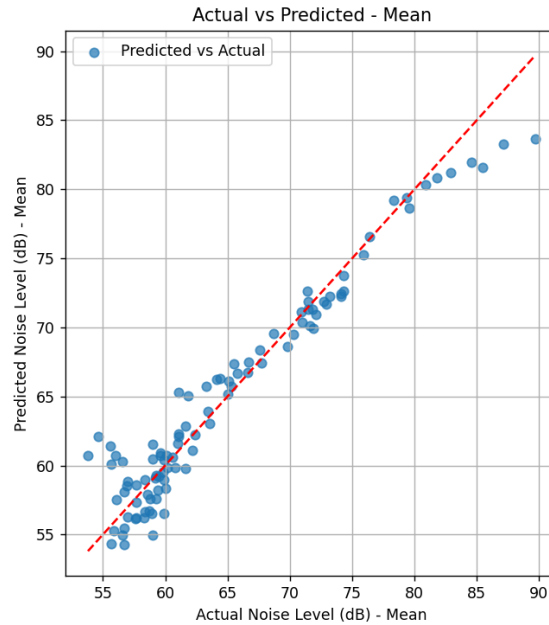


Рис. 6 Кореляція між прогнозованими та вимірними значеннями середнього рівня звуку від грейдера

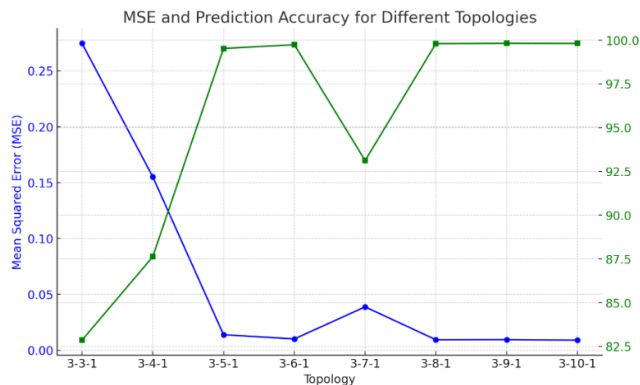


Рис. 7 Середньоквадратична похибка та точність прогнозування для різних топологій

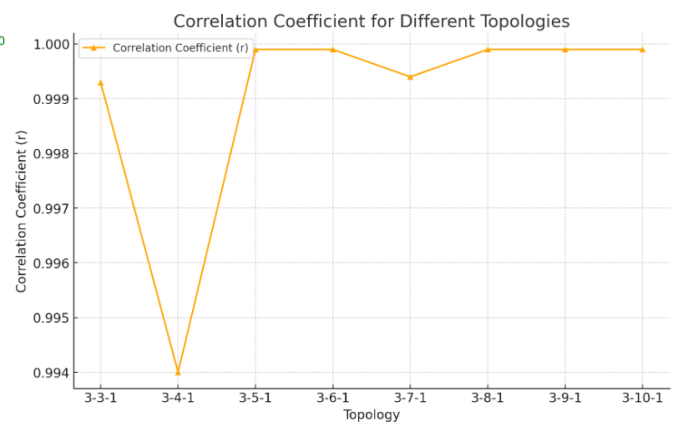


Рис. 8 Коефіцієнт кореляції для різних топологій

Рекомендації з охорони праці при використанні грейдера включають обов'язкове ознайомлення з інструкцією, технічний огляд перед початком роботи та використання засобів індивідуального захисту. Під час експлуатації необхідно дотримуватись правил безпеки, уникати небезпечних маневрів та підтримувати зв'язок з

іншими працівниками [13]. Важливо проводити регулярне технічне обслуговування та дотримуватись заходів безпеки при роботі в екстремальних умовах [14]. У разі несправностей чи аварій слід негайно зупинити техніку та повідомити керівництво.

## Висновки

Аналіз методів вимірювання шуму показав, що інтеграція ІШ в машинно-тракторні [13] комплекси автоматизує вимірювання, зменшує шум і покращує умови праці.

Розроблено методику вимірювання шуму для автогрейдера ДЗ-99, що забезпечує достовірні дані для оцінки його роботи та впливу на довкілля.

Експериментальні дослідження виявили вплив частоти обертів двигуна, передаточного числа та відстані на рівень шуму, підтвердили небезпечний частотний діапазон і дозволили розрахувати похибки вимірювань.

Створено нейромережеву модель прогнозування шуму (кореляція  $>0,9$ ), що підтверджує її практичну цінність.

Запропонована інтелектуальна система моніторингу шуму забезпечує ефективний аналіз у реальному часі, покращує умови експлуатації техніки та безпеку оператора.

Подальші дослідження зосередяться на розширенні моделі прогнозування з урахуванням дорожнього покриття, погодних умов і зношеності техніки, а також на розробці адаптивної системи управління акустичними характеристиками за допомогою машинного навчання.

## Література

1. Zaman Muzafar Environmental noise-induced cardiovascular, metabolic and mental health disorders: a brief review / Zaman, Muzafar; Muslim, Mohammad; Jehangir, Arshid. // *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29.51: 76485-76500.
2. Hahad O. Noise and mental health: evidence, mechanisms, and consequences / Hahad O, Kuntic M, Al-Kindi S, Kuntic I, Gilan D, Petrowski K, Daiber A, Münzel T. // *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2024 Jan 26. 2024, 1-8. doi: 10.1038/s41370-024-00642-5.
3. Serin, H. Noise level analysis of a bulldozer used in constructing a forest road in Mediterranean region of Turkey / Serin, H., Akay, A. // *African Journal of Agricultural Research*, 2010, 5, 2624-2628.
4. Nourani Vahid Artificial intelligence based ensemble model for prediction of vehicular traffic noise / Nourani, Vahid; Gökçekeş, Hüseyin; Umar, Ibrahim Khalil. // *Environmental research*, 2020, 180: 108852.
5. Krainiuk M. Hygienic assessment of the working conditions of the tractor driver's workplace in modern machine-tractor units / Krainiuk M., Krainiuk O. V., Sherbak O. V. // *Modern research in science and education. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Chicago, USA. 2024. Pp. 263-273.*
6. Sehsah, E.E. Noise test of two manufactured power tillers during transport on different local road conditions/ Sehsah, E.E., Abass Helmy, M. and Sorour, H.M. // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2010, 3(4), 19-27. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2010.04.009-017
7. Behrooz Lar Noise level of two types of tractor and health effect on drivers / Behrooz Lar, M., Pour, Z.K., Payandeh, M. and Bagheri, J. // *Journal of American Science*, 2011, 7(5). 382-387.
8. Lashgari M. Psychoacoustic evaluation of a garden tractor noise / Lashgari, M. and Maleki, A. // *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2015, 17(3), 231-241.
9. Melemez K. The investigation of the ergonomic aspects of the noise caused by agricultural tractors used in Turkish forestry / Melemez, K. and Tunay, M. // *African Journal of Agricultural Research*, 2010, 5(4), 243-249.
10. Monazzam M.R. Tractor drivers and bystanders noise exposure in different engine speeds and gears / Monazzam, M.R., Nadri, F., Khanjani, N., Ghotbi Ravandi, M.R., Nadri, H., Barsam, T., Shamsi, N., Akbari, H. and Akbari, H. // *Journal Mil. Med.*, 2012, 14(2), 149-154.
11. Hassan-Beygi. Prediction of a power tiller sound pressure levels in octave frequency bands using artificial neural networks / Hassan-Beygi, Barat Ghobadian Mohammad-Hosein Kianmehr, Reza Amiri // *Int J Agri Biol*, 2007, 3.9: 494-496.
12. Choi J. Automated noise exposure assessment model for the health of construction workers / Choi, J., Kang, H., Hong, T., Baek, H., Lee, D. // *Automation in Construction*, 2021, 126, 103657. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.103657>.
13. Said, K. Occupational Noise Exposure Among Road Construction Workers / Said, K., Haron, Z., Saim, A., Abidin, M., Yahya, K., Han, L. // *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 2014, 70, 15-19. <https://doi.org/10.11113/JT.V70.3571>.
14. Крайнюк М. Ю. Смарт безпека: штучний інтелект та датчики для забезпечення промислової безпеки / Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах: Матер. Всеукр. наук.-практ. конф., 2023, С. 91-95.

## References

1. Zaman, Muzafar; Muslim, Mohammad; Jehangir, Arshid (2022) Environmental noise-induced cardiovascular, metabolic and mental health disorders: a brief review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29.51: 76485-76500.
2. Hahad O, Kuntic M, Al-Kindi S, Kuntic I, Gilan D, Petrowski K, Daiber A, Münzel T. (2024) Noise and mental health: evidence, mechanisms, and consequences. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2024 Jan 26. 1-8. doi: 10.1038/s41370-024-00642-5.
3. Serin, H., Akay, A. (2010) Noise level analysis of a bulldozer used in constructing a forest road in Mediterranean region of Turkey. *African Journal of Agricultural Research*, 5, 2624-2628.
4. Nourani, Vahid; Gökçekeş, Hüseyin; Umar, Ibrahim Khalil (2020) Artificial intelligence based ensemble model for prediction of vehicular traffic noise. *Environmental research*, 180: 108852.
5. Krainiuk M., Krainiuk O. V., Sherbak O. V. (2024) Hygienic assessment of the working conditions of the tractor driver's workplace in modern machine-tractor units. *Modern research in science and education. Proceedings of the 10th*

International scientific and practical conference. BoScience Publisher. Chicago, USA. Pp. 263-273.

6. Sehsah, E.E., Abass Helmy, M. and Sorour, H.M. Noise test of two manufactured power tillers during transport on different local road conditions. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(4), 19-27. DOI: 10.3965/j.issn.1934-6344.2010.04.009-017

7. Behroozi Lar, M., Pour, Z.K., Payandeh, M. and Bagheri, J. (2011) Noise level of two types of tractor and health effect on drivers. *Journal of American Science*, 7(5). 382-387.

8. Lashgari, M. and Maleki, A. (2015) Psychoacoustic evaluation of a garden tractor noise. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(3), 231-241.

9. Melemez, K. and Tunay, M (2010) The investigation of the ergonomic aspects of the noise caused by agricultural tractors used in Turkish forestry. *African Journal of Agricultural Research*, 5(4), 243-249.

10. Monazzam, M.R., Nadri, F., Khanjani, N., Ghotbi Ravandi, M.R., Nadri, H., Barsam, T., Shamsi, N., Akbari, H. and Akbari, H. (2012) Tractor drivers and bystanders noise exposure in different engine speeds and gears. *Journal Mil. Med.*, 14(2), 149-154.

11. Hassan-Beygi, Barat Ghobadian Mohammad-Hosein Kianmehr, Reza Amiri (2007) Prediction of a power tiller sound pressure levels in octave frequency bands using artificial neural networks. *Int J Agri Biol*, 2007, 3.9: 494-496.

12. Choi, J., Kang, H., Hong, T., Baek, H., Lee, D. (2021) Automated noise exposure assessment model for the health of construction workers. *Automation in Construction*, 126, 103657. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.103657>.

13. Said, K., Haron, Z., Saim, A., Abidin, M., Yahya, K., Han, L. (2014) Occupational Noise Exposure Among Road Construction Workers. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 70(7). 15-19. <https://doi.org/10.11113/JT.V70.3571>.

14. Krainiuk M. (2023) Smart Safety: Artificial Intelligence and Sensors for Industrial Safety Assurance. *Metrolological Aspects of Decision-Making in the Conditions of Technogenic Hazardous Facilities mater.of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conf.*, pp. 91-95.

**Рецензент:** завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища Українського державного університету залізничного транспорту, д.т.н., професор Ю.В. Буц

**Автор:** КРАЙНІЮК Максим Юрійович  
Аспірант  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
E-mail – [krainiukmaksym@gmail.com](mailto:krainiukmaksym@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5640-1261>

**Автор:** ЩЕРБАК Олег Віталійович  
кандидат технічних наук, доцент  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
E-mail – [olegcherbak@gmail.com](mailto:olegcherbak@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7953-2135>

## APPLICATION OF INTELLIGENT MEASUREMENT TECHNOLOGIES FOR THE ANALYSIS OF OPERATIONAL PARAMETERS OF ROAD CONSTRUCTION MACHINERY

M. Krainiuk, O. Shcherbak

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

*The increasing mechanisation of the construction and road sectors necessitates improvements in the operational characteristics of road construction machinery, particularly in minimising noise pollution. Excessive noise generated by machinery such as motor graders affects operators' working conditions and the durability of machine components. This study focuses on applying intelligent measurement technologies to evaluate and optimise the acoustic characteristics of road construction machinery, emphasising noise prediction and reduction strategies.*

*The research introduces a novel methodology for noise measurement using the DZ-99 motor grader, ensuring accurate data collection for assessing the machine's operational parameters and environmental impact. Various factors influencing noise levels, such as engine speed, gear ratios, and measurement distances, were analysed through experimental studies. The results confirmed the presence of hazardous frequency ranges and enabled the calculation of measurement errors, which is crucial for optimising machine operating conditions.*

*A neural network-based noise prediction model was developed with high accuracy (correlation >0.9), demonstrating its practical value in analysing working processes and mitigating noise pollution. Implementing artificial intelligence in machine monitoring systems allows for real-time noise analysis, improving road construction equipment's operational efficiency and safety. The study also highlights the potential of integrating machine learning techniques to enhance acoustic assessments' precision and develop proactive noise reduction measures.*

*An intelligent noise monitoring system was proposed for real-time analysis, enhancing operators' conditions, ensuring regulatory compliance, and supporting sustainable construction. The study offers insights into optimizing operations and reducing noise exposure. The results of this study can be used to enhance existing evaluation methods for noise pollution, improve the reliability and safety of road construction equipment, and facilitate the development of intelligent systems for automated noise control. Future research should focus on refining noise prediction algorithms by incorporating additional factors such as terrain type, environmental conditions, and machine wear levels to enhance the accuracy and applicability of intelligent noise measurement technologies.*

**Keywords:** grader, neural networks, prediction, intelligent technologies, measurement accuracy, monitoring, technical systems, innovative technologies, sensors, environmental safety.