УДК 613.5:534.1:614.31
DOI https://doi.org/10.32782/2415-8127.2026.74.25

Семашко Петро Віталійович,
доктор медичних наук,
головний науковий співробітник лабораторії фізико-хімічних досліджень,
ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України»
pws240653@gmail.com
https://orcid.org/0009-0009-3075-4245
м. Київ, Україна

Думанський Вадим Юрійович,
доктор медичних наук,
завідувач лабораторії фізико-хімічних досліджень,
ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України»
vdumansky@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2704-1649
м. Київ, Україна

Галак Станіслав Станіславович,
кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник лабораторії фізико-хімічних досліджень,
ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України»
ssgalak@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-9502-7198
м. Київ, Україна

Безверха Анна Петрівна,
завідувач редакційно-видавничого відділу,
ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України»
a.bezverkha@health.gov.ua
https://orcid.org/0000-0001-5362-2899
м. Київ, Україна

Гоц Олексій Володимирович,
науковий співробітник лабораторії фізико-хімічних досліджень,
ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України»
alexei.gots@imbioimpex.com.ua
https://orcid.org/0009-0009-6044-343X
м. Київ, Україна

Сердюк Євген Андрійович,
кандидат медичних наук,
старший науковий співробітник лабораторії фізико-хімічних досліджень
ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України»
tugs.down@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-4947-6045
м. Київ, Україна

Наукове обґрунтування допустимих значень дози вібрації для оцінки вібраційного впливу в житлових та громадських будівлях України

Зростання щільності міської забудови, розвиток транспортної інфраструктури та збільшення кількості джерел техногенних динамічних навантажень сприяють підвищенню рівнів вібрації у житлових і громадських будівлях. Тривалий вплив непостійної вібрації може негативно впливати на комфорт населення, якість сну та повсякденну життєдіяльність. Водночас в Україні відсутні сучасні санітарні нормативи, що встановлювали б допустимі значення вібраційного впливу для населення.

Мета. Науково обґрунтувати допустимі значення дози вібрації (Vibration Dose Value, VDV) для оцінки впливу переривчастої та імпульсної вібрації у житлових і громадських будівлях України з урахуванням національних часових інтервалів перебування людей у приміщеннях.

Матеріали та методи. Дослідження виконано як нормативно-аналітичне моделювання на основі порівняльного аналізу міжнародних стандартів ISO 2631-1, ISO 2631-2 та BS 6472-1, а також положень законодавства України щодо визначення денного та нічного періодів. Для адаптації міжнародних критеріїв використано математичну модель розрахунку VDV, яка базується на четвертому ступені залежності дози від рівня віброприскорення та тривалості експозиції.

Результати. Обґрунтовано доцільність застосування критерію VDV замість середньоквадратичного значення віброприскорення (RMS) для оцінки непостійної вібрації у будівлях. Проведено адаптацію критеріїв BS 6472-1 до часових інтервалів, визначених законодавством України (14 годин денного та 10 годин нічного періоду). Розраховано допустимі значення VDV для житлових будинків, закладів освіти, лікарняних приміщень та кімнат у закладах соціального догляду.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє адаптувати міжнародні методи оцінки вібраційного впливу до умов України та може бути використаний як науково-методична основа для розроблення санітарних нормативів щодо вібрації у житлових і громадських будівлях.

Ключові слова: вібрація у будівлях, доза вібрації (VDV); загальна вібрація, оцінка вібраційного впливу, житлові будівлі, громадське здоров'я, гігієнічні критерії оцінки впливу на здоров'я.

Semashko Petro Vitaliyovych, Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Physicochemical Research, State Institution "O. M. Marzeyev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Science of Ukraine", pws240653@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-3075-4245, Kyiv, Ukraine

Dumanskyi Vadym Yuriyovych, Doctor of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Physicochemical Research, State Institution "O. M. Marzeyev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Science of Ukraine", vdumansky@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2704-1649, Kyiv, Ukraine

Halak Stanislav Stanislavovych, PhD in Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Physicochemical Research, State Institution "O. M. Marzeyev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Science of Ukraine", ssgalak@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9502-7198, Kyiv, Ukraine

Bezverkha Anna Petrivna, Head at the Department Editorial and Publishing, State Institution "O. M. Marzeyev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Science of Ukraine", a.bezverkha@health.gov.ua, https://orcid.org/0000-0001-5362-2899, Kyiv, Ukraine

Hots Oleksii Volodymyrovych, Researcher of the Laboratory of Physicochemical Research, State Institution "O. M. Marzeyev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Science of Ukraine", alexei.gots@imbioimpex.com.ua, https://orcid.org/0009-0009-6044-343X, Kyiv, Ukraine

Serdiuk Yevhen Andriyovych, PhD in Medical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Physicochemical Research, State Institution "O. M. Marzeyev Institute for Public Health of the National Academy of Medical Science of Ukraine", tugs.down@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-4947-6045, Kyiv, Ukraine

Scientific rationale for proposed vibration dose value criteria for assessing vibration exposure in residential and public buildings in Ukraine

Increasing urban density, development of transport infrastructure, and the growing number of anthropogenic sources of dynamic loads contribute to elevated vibration levels in residential and public buildings. Long-term exposure to intermittent vibration may adversely affect occupants' comfort, sleep quality, and daily activities. At the same time, Ukraine currently lacks modern health-based criteria establishing acceptable levels of vibration exposure for the population.

Objective. To provide a scientific rationale for proposed vibration dose value (Vibration Dose Value, VDV) criteria for assessing exposure to intermittent and impulsive vibration in residential and public buildings in Ukraine, taking into account nationally defined periods of human occupancy.

Materials and Methods. The study was conducted as a normative and analytical modelling study based on a comparative analysis of international standards, including ISO 2631-1, ISO 2631-2, and BS 6472-1, as well as Ukrainian legislative provisions defining daytime and nighttime periods. Adaptation of international criteria was performed using a mathematical VDV calculation model based on the fourth-power relationship between vibration acceleration magnitude and exposure duration.

Results. The applicability of the VDV criterion instead of root mean square (RMS) vibration acceleration for the assessment of non-stationary building vibration was substantiated. The BS 6472-1 criteria were adapted to the time periods established by Ukrainian legislation (14-hour daytime period and 10-hour nighttime period). Proposed VDV values were calculated for residential buildings, educational facilities, healthcare premises, and rooms in social care institutions.

Conclusions. The proposed approach enables adaptation of international vibration assessment methods to Ukrainian conditions and may serve as a scientific and methodological basis for the development of health-based regulatory criteria for vibration exposure in residential and public buildings.

Key words: building vibration, vibration dose value (VDV), whole-body vibration, vibration exposure assessment, residential buildings, public health, health-based criteria.

Вступ. Вібрація є одним із поширених фізичних факторів міського середовища, що формується внаслідок функціонування транспортної інфраструктури, промислових об'єктів та інженерного обладнання будівель. На відміну від шумового впливу, який переважно поширюється повітряним шляхом, вібрація переда-

ється через ґрунт, фундаменти та будівельні конструкції, створюючи умови для виникнення структурної вібрації у приміщеннях [1, 2].

Найбільш значущими джерелами вібрації у міському середовищі є залізничний транспорт, метрополітен, трамвайні системи, автомобільний транспорт, будівельні роботи та інженерне обладнання будівель. Особливістю таких впливів є їхня переважно непостійна, переривчаста або імпульсна природа, що ускладнює використання традиційних методів оцінки [3].

Сучасні дослідження свідчать, що вплив вібрації у житлових приміщеннях може бути пов'язаний із порушеннями комфорту, виникненням скарг населення, погіршенням умов відпочинку та порушенням сну [4-6]. Водночас встановлення причинно-наслідкових зв'язків між рівнями вібрації та довготривалими несприятливими ефектами для здоров'я залишається предметом подальших досліджень.

Тривалий час оцінювання впливу загальної вібрації здійснювалося переважно за середньоквадратичним значенням (root mean square, RMS) частотно-зваженого віброприскорення. Однак цей показник має обмеження при аналізі непостійних сигналів, оскільки усереднення за тривалий період може зменшувати внесок короткочасних пікових подій [7].

З цієї причини міжнародні стандарти ISO 2631-1 та BS 6472-1 рекомендують використання показника Vibration Dose Value (VDV) для оцінювання переривчастої та імпульсної вібрації. VDV визначається як інтегральний показник, що враховує четвертий ступінь віброприскорення, завдяки чому є більш чутливим до короткочасних пікових навантажень [8, 9].

Стандарт BS 6472-1 встановлює критерії оцінки ймовірності виникнення скарг мешканців залежно від величини VDV, однак цей документ не є санітарним нормативом і потребує адаптації при застосуванні в інших країнах. В Україні після скасування СН 1304-75 відсутні чинні санітарні нормативи, які б визначали допустимі значення вібрації у житлових та громадських будівлях.

Чинний ДБН В.1.2-10:2021 «Захист від шуму та вібрації» встановлює загальні вимоги щодо проектування та захисту будівель, проте не містить конкретних граничних значень вібраційного впливу для населення.

Таким чином, актуальним є розроблення науково обґрунтованого підходу до адаптації міжнародного критерію VDV з урахуванням особливостей українського законодавства, зокрема тривалості денного та нічного періодів, а також різного функціонального призначення будівель.

Мета дослідження – науково обґрунтувати допустимі значення дози вібрації для оцінки вібраційного впливу у житлових та громадських будівлях України.

Методологія та методи дослідження. Дизайн дослідження. Дослідження виконано як нормативно-аналітичну роботу, спрямовану на наукове обґрунтування методичного підходу до визначення допустимих значень дози вібрації (Vibration Dose Value, VDV) для оцінювання впливу непостійної вібрації у житлових та громадських будівлях України.

Об'єктом дослідження були критерії оцінки вібраційного впливу на людину, встановлені міжнародними стандартами, а також часові параметри експозиції населення відповідно до законодавства України.

Дослідження включало такі етапи:

1. Аналіз сучасних міжнародних підходів до оцінки впливу загальної вібрації на людину.
2. Визначення доцільності використання показника VDV для оцінки переривчастих та імпульсних вібрацій у будівлях.
3. Адаптацію часових інтервалів експозиції відповідно до законодавчих вимог України.
4. Розрахунок допустимих значень VDV для різних типів житлових і громадських будівель.

Джерела нормативних та методичних даних. При проведенні дослідження використано положення таких документів:

- ISO 2631-1:1997 «Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements»;
- ISO 2631-2:2003 «Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings»;
- BS 6472-1:2008 «Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings – Part 1: Vibration sources other than blasting»;
- ISO 8041-1:2017 «Human response to vibration – Measuring instrumentation»;
- Закон України «Про систему громадського здоров'я»;
- ДБН В.1.2-10:2021 «Захист від шуму та вібрації».

Метод оцінки дози вібрації. Відповідно до BS 6472-1 для оцінювання непостійної вібрації у будівлях застосовується показник дози вібрації (VDV), який визначається за формулою:

$$VDV = \left(\int_0^T a^4(t)dt\right)^{1/4} \quad (1)$$

де:

VDV – доза вібрації, м·с$^{-1.75}$;

a(t) – частотно-зважене віброприскорення, м/с^2;

T – загальна тривалість експозиції, с.

Особливістю цього показника є використання четвертого ступеня віброприскорення, що забезпечує підвищену чутливість до короткочасних пікових компонентів сигналу порівняно з RMS-оцінкою.

Адаптація міжнародних критеріїв до умов України. У стандарті BS 6472-1 оцінювання проводиться окремо для денного та нічного періодів:

- денний період – 16 годин;
- нічний період – 8 годин.

Відповідно до Закону України «Про систему громадського здоров'я» прийнято:

- денний період – 14 годин;
- нічний період – 10 годин.

У зв'язку з цим проведено перерахунок значень VDV з урахуванням залежності:

$$VDV_2 = VDV_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{0,25} \quad (2)$$

де:

VDV_1 – вихідне значення VDV;

VDV_2 – адаптоване значення VDV;

T_1 – тривалість експозиції у міжнародному стандарті;

T_2 – тривалість експозиції відповідно до українських часових періодів.

Обґрунтування вихідних рівнів віброприскорення. В основу розрахунків покладено пороги сприйняття вертикальної загальної вібрації людиною, наведені у BS 6472-1 та BS 6841.

Відповідно до наведених у стандартах даних:

– рівень близько 0,01 м/с² відповідає підвищеній чутливості людини до вібрації;

– рівень близько 0,02 м/с² характеризує верхню межу типового діапазону сприйняття.

Для різних функціональних типів будівель прийнято:

– житлові приміщення – нижчі значення для нічного часу та вищі для денного;

– заклади освіти – критерії денного перебування;

– дитячі дошкільні заклади – підвищені вимоги через наявність періоду денного сну;

– лікарні та заклади соціального догляду – підвищені вимоги через необхідність забезпечення умов відпочинку.

При цьому додаткові вікові коефіцієнти чутливості не застосовувалися через відсутність достатніх наукових доказів їх кількісного обґрунтування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Обґрунтування використання критерію VDV. Аналіз міжнародних стандартів показав, що RMS-оцінка має обмежене застосування для характеристики непостійної вібрації у будівлях.

Зокрема, відповідно до ISO 2631-1, при високих значеннях пік-фактора (Crest Factor >6) RMS може недостатньо точно характеризувати вплив короткочасних пікових подій.

Для міської вібрації, яка формується переважно рухом транспорту або роботою будівельної техніки, характерними є:

– короткочасні імпульсні події;

– значна нерівномірність у часі;

– повторюваність окремих подій.

Тому використання VDV є більш обґрунтованим для санітарно-гігієнічної оцінки таких впливів.

Розраховані допустимі значення VDV. На основі вихідних значень віброприскорення та тривалості експозиції проведено розрахунок допустимих значень VDV.

Інтерпретація отриманих результатів. Розраховані значення демонструють, що адаптація міжнародних критеріїв до українських часових періодів призводить до незначної зміни граничних значень VDV.

Найбільш жорсткі критерії запропоновані для:

– нічного перебування людей у житлових будинках;

– лікарняних палат;

– приміщень із можливістю сну або тривалого відпочинку.

Такий підхід відповідає сучасним принципам оцінювання факторів довкілля, відповідно до яких однаковий рівень фізичного фактора може мати різну соціальну значущість залежно від умов експозиції.

Обговорення. Сучасні підходи до оцінювання впливу вібрації на населення базуються на необхідності врахування не лише середнього рівня фізичного фактора, але й часової структури експозиції. Для вібрації у житлових і громадських будівлях особливе значення мають непостійні та імпульсні впливи, характерні для транспортних джерел, будівельних робіт та роботи інженерного обладнання.

Традиційне оцінювання за середньоквадратичним значенням віброприскорення (RMS) було розроблено переважно для аналізу відносно стабільних вібраційних процесів. Однак у міському середовищі вібраційний сигнал часто характеризується значною часовою нерівномірністю, наявністю короткочасних пікових подій та повторюваних імпульсів. У таких умовах використання RMS може призводити до недостатнього врахування внеску окремих подій високої інтенсивності [7, 8].

Показник Vibration Dose Value (VDV), рекомендований стандартами ISO 2631-1 та BS 6472-1, є більш придатним для оцінювання таких типів впливу, оскільки базується на інтегруванні четвертого ступеня віброприскорення. Такий математичний підхід забезпечує більшу чутливість до короткочасних пікових навантажень, які мають важливе значення при формуванні суб'єктивної реакції мешканців [8, 9].

Таблиця 1

Запропоновані значення VDV для оцінювання вібраційного дискомфорту у житлових та громадських будівлях України

Об'єкт	Період	Прийнятий рівень вібро-прискорення, м/с²	Час експо-зиції	Низька ймовірність скарг, м·с$^{-1,75}$	Скарги можливі, м·с$^{-1,75}$	Скарги ймовірні, м·с$^{-1,75}$
Житлові будинки	День	0,015-0,025	14 год	0,22-0,37	0,37-0,75	0,75-1,50
Житлові будинки	Ніч	0,010-0,015	10 год	0,14-0,21	0,21-0,41	0,41-0,83
Школи	День	0,015-0,025	6 год	0,18-0,30	0,30-0,61	0,61-1,21
Дошкільні заклади	День/ сон	0,010-0,015	10 год	0,14-0,21	0,21-0,41	0,41-0,83
Лікарняні палати	День	0,010-0,015	14 год	0,15-0,22	0,22-0,45	0,45-0,90
Лікарняні палати	Ніч	0,010-0,015	10 год	0,14-0,21	0,21-0,41	0,41-0,83
Будинки соціального догляду	Ніч	0,010-0,015	10 год	0,14-0,21	0,21-0,41	0,41-0,83

Отримані у роботі значення VDV були визначені шляхом адаптації критеріїв BS 6472-1 до часових параметрів, встановлених законодавством України. Необхідність такої адаптації обумовлена тим, що міжнародні стандарти зазвичай використовують власні часові інтервали оцінювання експозиції, які можуть відрізнятися від національних нормативних підходів.

Порівняння отриманих результатів із критеріями BS 6472-1 показало, що після коригування тривалості експозиції запропоновані значення залишаються у межах міжнародних діапазонів.

Для житлових приміщень у денний час запропоноване значення VDV, яке відповідає низькій ймовірності виникнення скарг мешканців, становить 0,22-0,37 м·с$^{-1.75}$. У BS 6472-1 аналогічний критерій становить приблизно 0,2-0,4 м·с$^{-1.75}$. Відмінність пояснюється зміною тривалості денного періоду з 16 до 14 годин.

Для нічного часу запропонований діапазон становить 0,14-0,21 м·с$^{-1.75}$. Порівняно з британським підходом (0,1-0,2 м·с$^{-1.75}$) нижня межа є дещо вищою, що пов'язано з більшою тривалістю нічного періоду, прийнятого в Україні. Водночас отримані значення зберігають принцип підвищеного захисту населення у період сну.

Особливістю запропонованого підходу є врахування функціонального призначення будівель. Для житлових приміщень, лікарняних палат, дошкільних закладів та закладів соціального догляду застосовано більш консервативний підхід через тривалість перебування людей та необхідність забезпечення умов відпочинку.

Разом із тим слід зазначити, що міжнародні стандарти оцінюють переважно ймовірність виникнення скарг та дискомфорту, а не прямі медичні наслідки впливу вібрації. Тому запропоновані значення VDV повинні розглядатися як критерії санітарно-гігієнічної оцінки умов перебування людей, а не як пороги виникнення захворювань.

Порівняно з попередніми українськими підходами, які базувалися переважно на RMS-оцінці, запропонований метод має перевагу при аналізі сучасного міського середовища, де переважають транспортні та інфраструктурні джерела переривчастої вібрації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованої методики:

− під час санітарно-гігієнічної оцінки проєктної документації;

− при оцінці впливу транспортної інфраструктури на житлову забудову;

− для розроблення майбутніх державних санітарних нормативів щодо вібрації.

Обмеження дослідження. Дане дослідження має декілька обмежень.

По-перше, запропоновані значення VDV отримані шляхом нормативно-математичної адаптації міжнародних критеріїв і не базуються на результатах власних епідеміологічних досліджень населення України.

По-друге, використані критерії BS 6472-1 та ISO 2631 розроблені переважно для оцінювання реакції людини на вібрацію у вигляді дискомфорту та ймовірності скарг. Вони не є прямими показниками ризику виникнення соматичних захворювань.

По-третє, у роботі не враховано можливий вплив індивідуальних характеристик людини (вік, стан здоров'я, попередній досвід впливу вібрації), оскільки сучасна нормативна база не містить науково підтверджених кількісних коефіцієнтів для таких корекцій.

Висновки з дослідження.

1. Встановлено, що для оцінювання непостійної та імпульсної вібрації у житлових і громадських будівлях більш доцільним є використання показника дози вібрації VDV, оскільки він краще враховує часову структуру та пікові характеристики вібраційного сигналу порівняно з RMS-оцінкою.

2. Проведено адаптацію міжнародного критерію BS 6472-1 до часових параметрів, визначених законодавством України, із врахуванням 14-годинного денного та 10-годинного нічного періодів.

3. Обґрунтовано розрахункові значення VDV для житлових будинків, закладів освіти, дошкільних установ, лікарняних приміщень та закладів соціального догляду.

4. Показано, що запропоновані критерії відповідають міжнародним підходам ISO 2631 та BS 6472 і можуть бути використані для оцінювання ймовірності виникнення скарг населення на вібраційний дискомфорт.

5. Запропонований методичний підхід може бути використаний як наукова основа для розроблення сучасних санітарних нормативів України щодо оцінки вібрації у житлових і громадських будівлях.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають бути спрямовані на проведення польових вимірювань рівнів вібрації у житлових та громадських будівлях України, а також на вивчення зв'язку між фактичними рівнями VDV і суб'єктивною реакцією населення.

Інформація про конфлікт інтересів. Конфлікт інтересів відсутній.

Інформація про фінансування. Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи «Розробка та вдосконалення методичних підходів до прогнозування акустичного стану та нормування вібрації житлового середовища», що фінансується Національною академією медичних наук України. № державної реєстрації 0120U105408.

Особистий внесок кожного автора у виконання роботи:

Семашко П.В. – концепція, методологія, дослідження, упорядкування даних, підготовка первинного тексту, аналіз отриманих результатів, залучення фінансування;

Думанський В.Ю. – концепція, методологія, дослідження, аналіз отриманих результатів, залучення фінансування;

Галак С.С. – дослідження, відбір та аналіз літературних джерел, упорядкування даних, аналіз отриманих результатів, редагування та доопрацювання;

Безверха А.П. – дослідження, упорядкування даних, аналіз отриманих результатів, редагування та доопрацювання, залучення фінансування;

Гоц О.В. – дослідження, аналіз отриманих результатів;

Сердюк Є.А. – дослідження, аналіз отриманих результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Organization for Standardization. ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements. Geneva: International Organization for Standardization; 1997.
2. International Organization for Standardization. ISO 2631-2:2003 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). Geneva: International Organization for Standardization; 2003.
3. International Organization for Standardization. ISO 8041-1:2017 Human response to vibration – Measuring instrumentation – Part 1: General purpose vibration meters. Geneva: International Organization for Standardization; 2017.
4. British Standards Institution. BS 6472-1:2008 Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings – Part 1: Vibration sources other than blasting. London: British Standards Institution; 2008.
5. International Organization for Standardization. ISO 10137:2007 Bases for design of structures – Serviceability of buildings and walkways against vibrations. Geneva: International Organization for Standardization; 2007.
6. World Health Organization Regional Office for Europe. Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2018.
7. Verkhovna Rada of Ukraine. Law of Ukraine "On the Public Health System" No. 2573-IX of September 6, 2022. Kyiv; 2022 [In Ukrainian].
8. Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine. DBN V.1.2-10:2021 Protection against noise and vibration. Kyiv; 2021 [In Ukrainian].
9. Basner M, McGuire S. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. Int J Environ Res Public Health. 2018 Mar 14;15(3):519. doi: 10.3390/ijerph15030519.
10. Guski R, Schreckenberg D, Schuemer R. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017;14(12):1539. doi: 10.3390/ijerph14121539.
11. Kawecki J, Kowalska A. Analysis of influence of vibrations on humans in buildings in standards approach. *Archives of Civil Engineering*. 2012;58(2):223-239. doi: 10.2478/v.10169-012-0014-z.
12. Kowalska-Koczwara A, Stypuła K. Human perception of vibrations according different assessment methods. *Vibroengineering PROCEDIA.* 2017;13:211-216. doi: 10.21595/vp.2017.19059.
13. Licitra G, Fredianelli L, Petri D, Vigotti MA. Annoyance evaluation due to overall railway noise and vibration in Pisa urban areas. Sci Total Environ. 2016 Oct 15;568:1315-1325. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.071.
14. Kowalska-Koczwara A, Pachla F, Burdzik R. Research on Human Exposure to Transport-Induced Vibration in Buildings. *Applied Sciences*. 2024;14(19):9016. doi: 10.3390/app14199016
15. Auersch L, Said S, Müller R. Measurements on the Vehicle-Track Interaction and the Excitation of Railway-Induced Ground Vibration. Procedia Engineering. 2017;199:2615-2620. doi: 10.1016/j.proeng.2017.09.390
16. Waddington DC, Woodcock J, Peris E, Condie J, Sica G, Moorhouse AT, Steele A. Human response to vibration in residential environments. *J. Acoust. Soc. Am.* 2014;135(1):182-193. doi: 10.1121/1.4836496.
17. Smith MG, Cordoza M, Basner M. Environmental Noise and Effects on Sleep: An Update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. Environ Health Perspect. 2022 Jul;130(7):76001. doi: 10.1289/EHP10197.
18. Maeda S, Mansfield NJ, Shibata N. Evaluation of subjective responses to whole-body vibration exposure: Effect of frequency content. International Journal of Industrial Ergonomics. 2008;38(5-6):509-515. doi: 10.1016/j.ergon.2007.08.013.
19. de la Hoz-Torres ML, Aguilar AJ, Ruiz DP, Martínez-Aires MD. Whole Body Vibration Exposure Transmitted to Drivers of Heavy Equipment Vehicles: A Comparative Case According to the Short- and Long-Term Exposure Assessment Methodologies Defined in ISO 2631-1 and ISO 2631-5. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(9):5206. doi: 10.3390/ijerph19095206.
20. Waddington DC, Woodcock J, Peris E, Condie J, Sica G, Moorhouse AT, Steele A. Human response to vibration in residential environments. J Acoust Soc Am. 2014 Jan;135(1):182-193. doi: https://doi.org/10.1121/1.4836496

Дата першого надходження статті до видання: 24.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0