

<https://doi.org/10.32402/hygiene2024.74.092>

УДК: 613.5

ВІБРАЦІЯ В БУДИНКАХ, ВИМОГИ ДО ДОПУСТИМИХ РІВНІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ

Семашко П.В., Думанський В.Ю., Безверха А.П., Біткін С.В., Гоц О.В.

ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ, Україна
e-mail: pws240653@gmail.com

Семашко П.В. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3075-4245>

Думанський В.Ю. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2704-1649>

Безверха А.П. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5362-2899>

Біткін С.В. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0287-6199>

Гоц О.В. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6044-343X>

Мета. Метою дослідження є визначення сучасних вимог до нормування вібрації в будівлях.

Об'єкт і методи дослідження. Стандарти: ISO 2631-1:1997; ISO 2631-2: 2003; ДСТУ ISO 2631-1:2004; ДСТУ ISO 2631-2: 2004; BS 6472-1:2008; ONORM S 9012:2010 (Австрія); DIN 4150-2:1999 (Німеччина); UNI 9614:1990 (Італія); Японія: Закон про регулювання вібрації; SBR Richtli – Deel B 2002 (Нідерланди); NS 8176:2005 (Норвегія); Real Decreto 1307/2007 (Іспанія); SS 4604861:1992. (Швеція); FRA (2005), FTA, 2006 (США).

Результати дослідження та їх обговорення. Проаналізовано основні параметри вібрації, пороги чутливості та комфорту, критерії оцінки вібрації (VDV, eVDV), напрямки дії загальної вібрації, криві частотного зважування (W_b , W_d , W_m), ймовірність виникнення скарг при різних значеннях віброприскорення, бажані та максимальні середньозважені значення віброприскорення для безперервної та імпульсної вібрації в будинках. Проаналізовані діючі в Україні ДСТУ з вібрації в будинках. Встановлено, що ці стандарти застаріли (використовуються старі системи координат та старі значення коефіцієнтів кривих частотного зважування). Встановлено, що в Україні відсутні нормативи допустимих рівнів або значень вібрації в будинках для людини.

Висновки. В результаті аналізу розглянутих стандартів встановлено, що основними параметрами вібрації є: віброзміщення, віброшвидкість; віброприскорення. Найчастіше застосовують віброприскорення. Пороги сприйняття вібрації не узгоджуються з наявними стандартами, в яких використовуються частотні вагові коефіцієнти, що недостатньою мірою враховують чутливість людей. В різних країнах, критерії граничних значень встановлюються вище порогів сприйняття. Деякі з них виводяться з порогового подразливого рівня. Критерії вібрації ґрунтуються на максимальних та середніх значеннях. Перші більшою мірою пов'язані з порушенням сну, другі більшою мірою пов'язані з роздратуванням.

Ключові слова. Вібрація, стандарти, критерії вібрації, пороги сприйняття вібрації.

VIBRATION IN BUILDINGS, REQUIREMENTS FOR PERMISSIBLE LEVELS AND EVALUATION CRITERIA

P.V. Semashko, V.Yu. Dumansky, A.P. Bezverkha, S.V. Bitkin, A.V. Gotz

SI "O.M. Marzieiev Institute for Public Health of the NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine

Objective. *The purpose of the study is to determine the current requirements for vibration regulation in buildings.*

Object and methods of the study. *Standards: ISO 2631-1:1997; ISO 2631-2: 2003; DSTU ISO 2631-1:2004; DSTU ISO 2631-2: 2004; BS 6472-1:2008; ONORM S 9012:2010 (Austria); DIN 4150-2:1999 (Germany); UNI 9614:1990 (Italy); Japan: Vibration Control Law; SBR Richtli - Deel B 2002 (Netherlands); NS 8176:2005 (Norway); Real Decreto 1307/2007 (Spain); SS 4604861:1992 (Sweden); FRA (2005), FTA, 2006 (USA).*

Research results and discussion. *The main parameters of vibration, thresholds of sensitivity and comfort, vibration evaluation criteria (VDV, eVDV), directions of action of general vibration, frequency weighting curves (Wb, Wd, Wm), the probability of complaints at different values of vibration acceleration, desirable and maximum weighted average values of vibration acceleration for continuous and impulsive vibration in buildings were analyzed. The current DSTUs on vibration in buildings in Ukraine are analyzed. It was found that these standards are outdated (old coordinate systems and old values of the coefficients of frequency weighting curves are used). It was found that there are no standards for permissible levels or values of vibration in buildings for humans in Ukraine.*

Conclusions. *As a result of the analysis of the considered standards, it was found that the main parameters of vibration are: vibration displacement, vibration velocity; vibration acceleration. Vibration acceleration is most often used. Vibration perception thresholds are not consistent with existing standards, which use frequency weighting factors that do not sufficiently take into account human sensitivity. In different countries, limit value criteria are set above the perception thresholds. Some of them are derived from the threshold irritation level. Vibration criteria are based on maximum and average values. The former are more related to sleep disturbance, the latter are more related to irritation.*

Keywords. *Vibration, standards, vibration criteria, vibration perception thresholds.*

З 1975 року по 2016 рік в УРСР та Україні діяли СН №1304 «Санітарні норми допустимих вібрацій у житлових будинках» [1]. Цей документ було скасовано згідно з розпорядженням Кабміну. Можливою підставою для такого рішення могло бути те, що радянські нормативи не відповідали сучасним нормативам ЄС за методичними підходами та критеріями оцінки.

На даний час в Україні діють:

- ДСТУ ISO 2631-1 [2] та ДСТУ ISO 2631-2 [3] (2004 р.). Це – ідентичні переклади міжнародних стандартів ISO 1997 та 2003 років [4,5].
- Особливо слід зазначити, що ці міжнародні стандарти, а таким чином і ДСТУ, не містять допустимих рівнів або значень вібрації. В них є тільки посилання на пороги сприйняття та орієнтовні значення вібрації для відчуття комфорту.
- Крім того, як показують дослідження, з 2004 року змінилися деякі підходи до нормування вібрації в житлових будинках. Ці зміни відображені в британському стандарті BS 6472-1:2008 «Керівництво з оцінки впливу вібрації на людину в будинках» [6].
- З зазначеного вище можна зробити висновок, що на даний час, в Україні відсутні вітчизняні гігієнічні нормативи з допустимих рівнів вібрації у житлових та громадських будинках, що ускладнює проектні рішення, пов'язані з їх будівництвом та відбудовою.

Тому метою наших досліджень було з'ясувати сучасні вимоги до нормування вібрації в будівлях.

Проаналізовані стандарти: ISO 2631-1:1997; ISO 2631-2: 2003; ДСТУ ISO 2631-1:2004; ДСТУ ISO 2631-2: 2004; BS 6472-1:2008; ONORM S 9012:2010 (Австрія); DIN 4150-2:1999 (Німеччина); UNI 9614:1990 (Італія); Японія: Закон про регулювання вібрації; SBR Richtli – Deel B 2002 (Нідерланди); NS 8176:2005 (Норвегія); Real Decreto 1307/2007 (Іспанія); SS 4604861:1992. (Швеція); FRA (2005), FTA, 2006 (США).

В результаті аналізу представлених нормативів та [7] встановлено:

Вібрація – це процес передачі енергії механічними коливаннями, які розповсюджуються у пружних (твердих) тілах.

Основні джерела вібрації в будинках поділяють на зовнішні та внутрішні. Внутрішні джерела, в свою чергу, поділяють на джерела механічного збудження та джерела антропогенного збудження.

Особливі проблеми можуть виникати в будівлях змішаного використання, де вібрація, викликана діяльністю людини в одній частині будівлі, передається в більш чутливі зони інших частин будівлі.

Люди можуть відчувати вібрацію в будівлях, і ця вібрація може чинити різний вплив на них, призводячи до зниження як якості життя, так і працездатності.

З аналізу стандартів встановлено, що основними параметрами вібрації є: віброзміщення; віброшвидкість; віброприскорення. Перевагу, при дослідженнях впливу вібрації на людину, зазвичай віддають віброприскоренню або віброшвидкості механічних коливань. Віброзміщення застосовують при оцінці впливу вібрації на конструкції будинків і споруд. На практиці використовують не тільки абсолютні значення але і відносні – це рівні віброприскорення та рівні віброшвидкості.

Найпростіше характеристики коливання можна представити на прикладі синусоїди. На практиці механічні коливання не є гармонійними і не представляють собою синусоїду. Це набір різних частот з різними амплітудами, які характеризують собою роботу конкретного джерела вібрацій. З цієї причини такі коливання характеризуються середньоквадратичними значеннями (RMS) в октавних або третинно октавних смугах частот.

Те, як люди сприймають вібрацію, залежить від різних чинників, зокрема від частоти і напрямку вібрації. Напрямки дії загальної вібрації визначають відносно прийнятій системі координат (базицентричній або геоцентричній). Згідно з BS 6472 [6] слід використовувати геоцентричну систему координат.

З урахуванням того, що сприйняття вібрації залежить від напрямку дії, дослідниками було зроблено висновок, що для різних осей вібрації потрібні різні частотні вагові коефіцієнти, в залежності від октавної смуги, для того щоб одержувані загальні рівні можна було інтерпретувати з погляду сприйняття, комфорту або негативних відгуків.

Сукупність таких вагових коефіцієнтів називають кривими частотного зважування. В міжнародному стандарті ISO 2631-2:1989 [5] були запропоновані базові криві для сприйняття вібрації в будівлях. Сьогодні виділяють наступні основні криві частотного зважування:

W_m – застосовується коли положення тіла не визначено. Найбільш часто застосовується в країнах ЕС.

W_b (для вертикального руху) і W_d (для горизонтального руху). Загальноприйняті в Британії та Японії.

Всі криві описані в британському стандарті BS 6841 [8].

Вагові коефіцієнти демонструють максимальну чутливість до:

- вертикального прискорення в діапазоні частот від 4 до 12,5 Гц;
- горизонтального прискорення в діапазоні від 1 до 2 Гц.

Британські дослідники [7] вважають, що крива W_b є найбільш підходящою схемою частотного зважування для вертикальної вібрації, коли рівні вібрації явно перевищують пороги сприйняття.

Поріг сприйняття безперервної вібрації всього тіла у різних людей значно різниться. Приблизно половина людей у популяції, перебуваючи в положенні стоячи або сидячи, можуть сприймати вертикальне прискорення, зважене пікове значення якого становить

$0,015 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$. Чверть людей відчуває вібрацію з піковим значенням $0,01 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$. Ще чверть найменш чутливих людей зможе виявити вібрацію тільки з піковим значенням $0,02 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ і вище.

Загалом не було зареєстровано жодних негативних зауважень, відчуттів або скарг для значень (прискорення або швидкості), що розташовуються нижче цих показників [7].

Існує точка зору розробників нормативів [7], що пороги сприйняття вібрації не узгоджуються з наявними стандартами, в яких використовуються частотні вагові коефіцієнти, що недостатньою мірою враховують чутливість людей.

Як свідчать останні дослідження, на порозі сприйняття і трохи вище за нього вагові коефіцієнти кривої W_b не надають достатньо точного результату на вищих частотах розглянутого діапазону.

На даний час не існує згоди між дослідниками, яке зважування є найкращим. Існує думка про те, що не зважені значення вібрації краще корелюють з суб'єктивною оцінкою.

Крім направлення вібрації значення також мають місця входу коливань у тіло людини (стопа, сідниця, спина, голова). Для цього існують додаткові криві частотного зважування).

У попередніх версіях стандарту BS 2631 частотні вагові коефіцієнти були вказані в базицентричній системі координат. Згідно з сучасними уявленнями (стандарт BS 6841) слід застосовувати вагові коефіцієнти вібрації, які відповідають геоцентричній системі координат (центрованої по вертикальним і горизонтальним осям відносно поверхні Землі), і тому, вагові коефіцієнти для суб'єктів, які лежать на спині, змінюються порівняно з попередньою версією системи координат.

Згідно з положеннями стандарту BS 6472, при оцінці вібрації, необхідно використовувати значення дози вібрації (VDV).

Значення вібраційної дози визначається за формулою [6]:

$$VDV_{b/d, day/night} = \left(\int_0^T a^4(t) dt \right)^{0,25},$$

де: $VDV_{b/d, день/ніч}$ – значення дози вібрації (в $\text{м} \cdot \text{с}^{-1,75}$);

$a(t)$ – частотно-зважене прискорення (в $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$), використовуючи криві W_b або W_d відповідно;

T – загальний період вимірювання, с.

Якщо рівень вібрації "стійкий", то можна використовувати коротші вимірювання прискорення.

У тих випадках, коли умови вібрації є постійними або повторюються регулярно, необхідно провести вимірювання тільки в одній репрезентативній вибірці тривалістю τ секунд.

Якщо визначено дозу вібрації $VDV_{b/d, \tau}$, то загальну дозу вібрації для денного часу доби, $VDV_{b/d, \text{дн.}}$, можна визначити за допомогою рівняння:

$$VDV_{b/d, \text{дн.}} = \left(\frac{t_{\text{дн.}}}{t_{\tau}} \right)^{0,25} \times VDV_{b/d, \tau}$$

де: $t_{\text{дн.}}$ – тривалість впливу в денний час доби, с;

τ – тривалість одного впливу, с.

Якщо протягом будь-якого з періодів загальної оцінки буде зареєстровано загалом N епізодів вібрації з різними значеннями тривалості t_n та доз вібрації $VDV_{b/d}$, t_n у кожному епізоді, то загальну дозу вібрації для денного або нічного часу доби можна буде визначити за допомогою рівняння:

$$VDV_{b/d, \text{ дн./ночн.}} = \left(\sum_{n=1}^{n=N} VDV_{b/d, t_n}^4 \right)^{0,25}$$

На значення VDV набагато сильніше впливає величина вібрації, ніж її тривалість. Подвоєння або зменшення вдвічі величини вібрації еквівалентно збільшенню або зменшенню тривалості впливу в шістнадцять разів.

Доза вібрації представляє собою результат сумарного вимірювання вібрації, отримане за денний або нічний період. Вимірювання є кращим методом, оскільки вібрація може бути різною і в багатьох випадках переривчастою. Значення дози вібрації використовується для оцінки ймовірності несприятливих коментарів. Доза вібрації дає оцінку безперервної, переривчастої, випадкової та імпульсної вібрації та добре корелює з суб'єктивною реакцією.

Після того, як отримано сумарну дозу вібрації, треба оцінити вплив цього значення або рівня з точки зору людської реакції. В основі цього судження покладено ймовірність того, що визначена доза вібрації може призвести до скарг з боку тих, хто її відчуває.

Діапазони значень дози вібрації, які можуть призвести до різних ймовірностей негативного впливу на мешканців житлових будинків представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Діапазони значень дози вібрації ($m \cdot s^{-1,75}$), які можуть призвести до різних ймовірностей негативного впливу на мешканців житлових будинків (BS 6472:2008).

Місце і час	Низька ймовірність несприятливих коментарів, $m \cdot s^{-1,75}$	Несприятливі зауваження можливі, $m \cdot s^{-1,75}$ (1)	Несприятливі зауваження ймовірні, $m \cdot s^{-1,75}$ (2)
Житлові будинки, день	0,2 – 0,4	0,4 – 0,8	0,8 – 1,6
Житлові будинки, ніч	0,1 - 0,2	0,2 – 0,4	0,4 - 0,8

Примітка:

¹⁾ Нижче цих діапазонів негативні коментарі не очікуються.

²⁾ Вище цих діапазонів негативні коментарі дуже ймовірні.

Для офісів і майстерень до наведених вище діапазонів доз вібрації слід застосовувати підвищувальні коефіцієнти 2 і 4 відповідно.

Як видно, критерії представлені у вигляді діапазонів, а не дискретних значень. Це значною мірою пов'язано з різною чутливістю до вібрації, що спостерігається серед населення. Оскільки для кожної категорії існує діапазон значень, зрозуміло, що оцінка ніколи не може бути точною.

Розробники стандарту вважають, що представлені значення є найкращими з наявних на сьогоднішній день і можуть використовуватися як для вертикальної, так і для горизонтальної вібрації за умови, що вони правильно зважені.

Бажані та максимальні середньозважені значення віброприскорення для безперервної та імпульсної вібрації представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Бажані та максимальні середньозважені значення віброприскорення для безперервної та імпульсної вібрації віброприскорення (м/с²) 1-80 Гц (BS 6472).

Місцезнаходження	Період оцінки	Бажані значення		Максимальні значення	
		вісь z	вісь x та вісь y	вісь z	вісь x та вісь y
Безперервна вібрація					
Критичні зони ²	Денний або нічний час	0,0050	0,0036	0,010	0,0072
Житлові резиденції	День	0,010	0,0031	0,020	0,014
	Ніч	0,007	0,005	0,014	0,010
Офіси, школи, освітні заклади та культові споруди	Денний або нічний час	0,02	0,014	0,040	0,028
Майстер-класи, семінари	Денний або нічний час	0,04	0,029	0,080	0,058
Імпульсна вібрація					
Критичні зони	Денний або нічний час	0,0050	0,0036	0,010	0,0072
Житлові резиденції	День	0,3	0, 21	0,6	0,42
	Ніч	0,1	0,071	0,2	0,14
Офіси, школи, освітні заклади та культові споруди	Денний або нічний час	0,64	0,46	1,28	0,92
Майстер-класи, семінари	Денний або нічний час	0,64	0,46	1,28	0,92

Висновки

В результаті аналізу розглянутих стандартів встановлено:

- Основними параметрами вібрації є: віброзміщення, віброшвидкість; віброприскорення. Найчастіше застосовують віброприскорення.
- Визначаються зважені середні RMS, зважені максимальні RMS. Частотний аналіз робиться в октавних або третинно октавних смугах.
- Застосовують криві частотного зважування Wm, Wb, Wd. У країнах ЕС частіше використовують зважування Wm.
- Пороги сприйняття вібрації не узгоджуються з наявними стандартами, в яких використовуються частотні вагові коефіцієнти, що недостатньою мірою враховують чутливість людей.
- На даний час не існує згоди між дослідниками про те, яке зважування є найкращим. Існує думка про те, що не зважені значення вібрації краще корелюють з суб'єктивною оцінкою.
- Для визначення ймовірності виникнення скарг мешканців на вібрацію вимірюють значення сумарної дози вібрації (VDV).
- Задовільні величини, про які йдеться в розглянутих стандартах, стосуються негативних коментарів мешканців будівлі і не визначаються такими критеріями, як короткочасна небезпека для здоров'я або працездатність.
- У житлових будинках негативні коментарі щодо вібрації ймовірні, коли рівні вібрації, лише трохи перевищують пороги сприйняття.

- В різних країнах, критерії граничних значень встановлюються вище порогів сприйняття. Деякі з них виводяться з порогового подразливого рівня.
- Критерії вібрації ґрунтуються на максимальних та середніх значеннях. Перші більшою мірою пов'язані з порушенням сну, другі більшою мірою пов'язані з роздратуванням.
- При розробці вітчизняного нормативного документу слід враховувати поняття порогу сприйняття, порогу подразнення (пов'язаного з якістю життя) і занепокоєння (пов'язаного з якістю сну).

Внески авторів:

Семашко П.В. – дослідження, адміністрування проєкту, формальний аналіз, написання.

Думанський В.Ю. – методологія, дослідження, формальний аналіз.

Безверха А.П. – дослідження, формальний аналіз, написання, редагування.

Біткін С.В. – методологія, дослідження, формальний аналіз.

Гоц О.В. – методологія, дослідження, формальний аналіз.

Фінансування. Дослідження виконане у рамках НДР «Розробка та вдосконалення методичних підходів до прогнозування акустичного стану та нормування вібрації житлового середовища».

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. [SRN 1304-75 Sanitary norms of permissible vibrations in residential buildings. Date of acceptance: 13.06.1975. Date of withdrawal of validity: 01.01.2017. Withdrawn in accordance with the Decree of the Cabinet of Ministers No. 94-r dated 20.01.2016]. Ukrainian.
2. [SSTU ISO 2631-1:2004. Mechanical vibration and shock. Assessment of the impact of general vibration on humans. National Research Institute of Labor Protection, TC 135. Order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine dated November 30, 2004, No. 268 of 2004-04-01]. Derzhspozhyvstandart; 2006. 41 p. Ukrainian. Available from: <https://dnaop.com/html/60469/doc-ДСТУ ISO 2631-1 200>
3. [SSTU ISO 2631-2: 2004. Mechanical vibration and shock. Assessment of the effects of total vibration on humans. Part 2. Vibration in buildings (from 1 Hz to 80 Hz)) National Research Institute of Labor Protection, TC 135. Order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine dated November 30, 2004, No. 268 with 2006-04-01]. Derzhspozhyvstandart; 2004. 16 p. Ukrainian. Available from: <https://dnaop.com/html/2281/doc-ДСТУ ISO 2631-2 2004>
4. ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements. Publication date: May 1, 1997. Current stage: 90.92. Standard to be revised Apr 4, 2023. Originator: ISO. Owner: ISO/TC 108/SC 4 Human exposure to mechanical vibration and shock. Type: International Standard. ICS:13.160 Vibration and shock with respect to human beings.
5. ISO 2631-2 Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration. Part 2: Vibration in Buildings (1 Hz to 80 Hz). 2nd Edition. International Organization for Standardization (ISO); 2003. 18 p.
6. BS 6472-1:2008 British Standard. Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings. Part 1: Vibration sources other than blasting ICS 13.160 Revision Level 2008 edition. 2008. 28 p.
7. Elias P, Villot M. Review of existing standards, regulations and guidelines, as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration. 2012. 65 p. Available from: http://www.rivas-project.eu/fileadmin/documents/rivas_cstb_wp1_d1_4_v03_assesment_human_response.pdf

8. BS 6841, 87th Edition. Guide to Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock Methods of quantifying vibration and shock in relation to human health, interference with activities, discomfort, the probability of vibration perception and the incidence of motion sickness. Tentative guidance is given on the possible effects of vibration. British Standards Institution (BSI); 2020. 30 p. Available from: <https://global.ihs.com/standards.cfm?publisher=BSI>.

Надійшла до редакції / Received: 29.10.2024