

Н. Б. Бурдейна

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ІНФРАЗВУКУ У НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ ТА ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ЇХ НОРМАЛІЗАЦІЇ

**Анотація.** Дослідження присвячене вирішенню науково-практичної проблеми нормалізації рівнів інфразвуку в загальних навчальних аудиторіях, комп'ютерних класах, спеціалізованих лабораторіях закладів вищої освіти та наданню рекомендації щодо засобів та заходів з їх нормалізації. Проведений аналіз існуючих досліджень, публікацій та прикладних розробок щодо заходів та засобів нормалізації рівнів інфразвуку в навчальних та виробничих умовах. Виконано натурні вимірювання рівнів інфразвуку в приміщеннях закладів вищої освіти. Вимірювання інфразвуку здійснювалося каліброваним приладом ОКТАВА-110А – шумоміром 1 класу, що має вбудовані октавні та третинооктавні фільтри. Виявлено, що в певних приміщеннях закладів вищої освіти значення інфразвуку наближаються до гранично допустимих відповідно до європейських вимог – 90 дБ. Значні різниці показів приладу за шкалами «Lin» та «A» свідчать про суттєву присутність інфразвуку в загальному акустичному забрудненні. При цьому на деяких локаціях навчальних корпусів і прилеглих територій виявлено неочікувану, повторювальну наявність рівнів інфразвуку 95-105 дБ. Ці факти потребують встановлення джерел підвищеного інфразвукового навантаження на акустичне середовище та їх подальших досліджень. Перспективним напрямом підвищення безпеки студентів, викладачів та співробітників є комплексне обстеження приміщень та прилеглої території університету з наступним складанням мапи акустичного забруднення середовища для розробки системи заходів безпеки на принципах розумної достатності.

**Ключові слова:** інфразвук, навчальні аудиторії, комп'ютерні класи, навчальні лабораторії.

### Вступ

Особливостями інфразвуку – механічних пружних хвиль з частотою до 16 Гц, є несприйняття його органами чуття людини, повільне згасання в просторі через велику довжину хвилі, поширення на великі відстані, незначне поглинання елементами конструкцій, будівель і споруд та шумозахисними матеріалами. У той же час інфразвукові хвилі, в залежності від частоти і рівня звукового тиску, здійснюють шкідливий вплив на організм людини. Інфразвук несприятливо діє на нервову, серцево-судинну систему, функціонування процесу дихання, стан слухового та вестибулярного аналізаторів. Людина може відчувати втому, головний біль, запаморочення, нудоту, зниження гостроти слуху і зору, а також відчуття безпричинної паніки та страху.

Для закладів вищої освіти питання дослідження рівнів інфразвуку у навчальних приміщеннях та визначення умов їх нормалізації є особливо важливим, оскільки організм молодих людей знаходиться у стані розвитку і потребує перебування в умовах з низьким рівнем негативних техногенних впливів. В той же час спеціалізовані лабораторії закладів вищої освіти є приміщеннями з певними ризиками щодо професійної безпеки і стану здоров'я студентів, викладачів та співробітників університету. Досліджень щодо фактичних рівнів інфразвуку у навчальних закладах не проводилось, що обумовлює актуальність даного дослідження

### Огляд літературних джерел

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що значна кількість зарубіжних та вітчизняних

наукових досліджень присвячена питанням джерел випромінювання інфразвуку, закономірностей його поширення і взаємодії в різних середовищах, будівлях і конструкціях, шкідливого впливу на людський організм, у тому числі у виробничих умовах, способів і засобів нормалізації інфразвуку [1–20].

Обмеження впливу інфразвуку у виробничому середовищі в країнах ЄС здійснюється на основі положень Директиви Європейського Парламенту та Ради ЄС 2003/10/ЄС, оцінка ризиків професійного впливу здійснюється відповідно до міжнародного стандарту ISO 1999:2013 «Acoustics. Estimation of Noise Induced Hearing Loss» [21]. Слід зазначити, що окремого стандарту щодо вимірювань інфразвуку в країнах ЄС та в Україні на даний час не впроваджено. Визначення експозиції інфразвуку в країнах ЄС здійснюється за методичними вимогами ISO 7196:1995 «Acoustics. Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements» [22] з частотно зваженою характеристикою «G». В Україні вплив інфразвуку на робочих місцях регламентується «Санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [23]. Для інфразвуку на території житлової забудови в Україні діяли «Санітарні норми допустимих рівнів інфразвуку і низькочастотного шуму на території житлової забудови» [24], які з 01.01.2017 втратили чинність і не мають повноцінної заміни. За цим нормативним документом гранично допустимий рівень звукового тиску в діапазоні октавних смуг із середньо геометричними частотами 2–31,5 Гц дорівнював 90 дБ. В третині октавних смугах рівень звукового тиску приймався 85 дБ.

На сьогодні є чинними методичні вказівки щодо профілактики несприятливого впливу виробничого

інфразвуку на організм підлітків з урахуванням нормативних даних для їх віку та протипоказань для роботи в умовах впливу виробничого низькочастотного звуку та інфразвуку, а також режиму праці та відпочинку [25]. В Україні перебувають на стадії затвердження санітарні норми щодо допустимих рівнів інфразвуку в приміщеннях житлових та громадських будинків та прилеглих територій. У цьому документі пропонують ввести як гранично допустимі еквівалентні рівні інфразвуку у житлових та громадських приміщеннях 88 дБ, на прилеглих територіях 90 дБ за лінійною шкалою.

**Мета роботи** – вивчення рівнів інфразвуку у загальних навчальних аудиторіях, комп'ютерних класах та спеціалізованих лабораторіях закладів вищої освіти та надання рекомендацій щодо їх нормалізації відповідно до європейської нормативної бази.

### Теоретичні основи дослідження

За характером спектра інфразвук поділяють на широкосмуговий і гармонійний, за тимчасовими характеристиками – на постійний і непостійний. Постійний інфразвук нормують за рівнем звукового тиску в октавних смугах частот 2, 4, 8 і 16 Гц. Нормованими характеристиками непостійного інфразвуку є еквівалентні за енергією рівні звукового тиску  $L_{екв}$ , дБ в октавних смугах частот та еквівалентний загальний рівень звукового тиску в дБ, виміряні за шкалою «Lin». Рівні інфразвуку, що коливається в часі та переривчастого інфразвуку, виміряні за шкалою «Lin», не повинні перевищувати 120 дБ. Еквівалентні по енергії рівні у стандартних октавних смугах частот ( $L_{екв}$ ) та еквівалентний загальний ультразвуковий діапазон (в дБ, за шкалою «Lin») визначаються за формулою:

$$L_{екв} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1L_i} \right],$$

де  $T$  – період спостереження, в год;  $t_i$  – тривалість дії шуму з рівнем  $L_i$ , в год;  $L_i$  – логарифмічний рівень інфразвуку в  $i$ -й проміжок часу, в дБ;  $n$  – загальна кількість проміжків дії інфразвуку.

Для орієнтовної оцінки виразності інфразвуку можна використовувати загальний рівень звуку, виміряний за шкалою «Lin», та експрес-показник  $\Delta$  – різницю рівнів, виміряних за шкалами «Lin» та «А»:

$$\Delta = L_{Lin} - L_A,$$

Чим більша різниця  $\Delta$ , тим вагоміший внесок низькочастотних та інфразвукових складових у спектрі досліджуваного шуму. При значеннях показника від 6 до 10 дБ вважається, що є ознаки наявності інфразвуку, при 11–20 дБ – інфразвук помірно виражений; 21–30 дБ – виражений; більше 30 дБ – значний інфразвук.

### Методика дослідження

Вимірювання рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку здійснювалося каліброваним шумоміром ОКТАВА-110А. Шумомір ОКТАВА-110А призначений для вимірювання звуку, що впливає на людину, на виробництві, у транспорті, в житлових та громадських

будівлях тощо. Прилад може використовуватися для вимірювання шумових характеристик машин, вимірювання звукоізоляції, визначення звукової потужності, атестації приміщень. Є шумоміром 1 класу і має вбудовані октавні та третинооктавні фільтри.

Технічні характеристики шумоміра ОКТАВА-110А:

- діапазон вимірів – 22–139 дБА (з мікрофоном 50 мВ/Па);
- рівень власних електричних шумів – менше 10 дБА;
- фільтр у режимі "Звук" – октавні фільтри 31,5–16000 Гц, третинооктавні фільтри 25–20000 Гц;
- фільтр у режимі "Інфразвук" – октавні фільтри 2–16 Гц, третинооктавні фільтри 1,6–20 Гц.

Рівні звуку вимірюються за шкалою корекції «А». Рівні інфразвуку вимірюються за шкалою «Lin». Обов'язковими є дані щодо еквівалентних рівнів звуку за шкалою «А». Різниця показів більше за 10 дБ свідчить про суттєву наявність інфразвуку. Вимірювання рівнів звуку здійснювались в октавних та третинооктавних смугах частот як для звуку так і для інфразвуку. Це обумовлено різними нормативними вимогами до звуку в окремих смугах.

### Результати дослідження

Дослідження виконувалися у ряді профільних лабораторій КНУБА та комп'ютерних класах. Усі навчальні приміщення розташовані у різних частинах навчальних корпусів. Це виключає вплив стороннього джерела інфразвуку на результати вимірювань. Вимірювання здійснювались в таких спеціалізованих лабораторіях – лабораторії будівельних машин кафедри будівельних машин, навчальній лабораторії машин та обладнання виробництва будівельних матеріалів і конструкцій кафедри машин і обладнання технологічних процесів та в двох навчальних лабораторіях кафедри фізики – механіки; коливальних, хвильових процесів та оптики.

Отримані дані у третинооктавних смугах частот наведені у таблицях 1–12, де  $\nu$  – частота інфразвукових хвиль, вимірюється в Гц,  $L$  – рівень інфразвуку, вимірюється в дБ.

Таблиця 1 – Рівні інфразвуку в комп'ютерному класі на 9 комп'ютерів в центральній частині головного корпусу на 6-му поверсі

$\nu$ , Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
$L$ , дБ	99	96	101	99	95	100	94	90	105	88	72	54

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 58 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 92 дБ, різниця показів – 34 дБ, що свідчить про дуже значну наявність інфразвуку.

Таблиця 2 – Рівні інфразвуку в комп'ютерному класі на 15 комп'ютерів в правому крилі головного корпусу на 3-му поверсі

$\nu$ , Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
$L$ , дБ	68	69	64	61	62	57	59	68	69	52	64	65

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 56 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 69 дБ, різниця показів – 13 дБ, що свідчить про суттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 3 – Фонові рівні інфразвуку в лабораторії будівельних машин кафедри будівельних машин**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	57	55	57	51	47	44	41	43	43	41	61	54

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 44 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 58 дБ, різниця показів – 14 дБ, що свідчить про суттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 4 – Рівні інфразвуку в лабораторії будівельних машин кафедри будівельних машин на працюючому стенді для вимірювання опору ґрунтів різанню**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	65	63	59	55	52	47	44	43	42	42	61	50

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 74 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 76 дБ, різниця показів – 2 дБ, що свідчить про несуттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 5 – Рівні інфразвуку в лабораторії будівельних машин кафедри будівельних машин при увімкненій кабіні керування моделі баштового крану КБ 403А**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	79	68	60	60	64	57	48	46	71	52	57	41

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 61 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 82 дБ, різниця показів – 21 дБ, що свідчить про суттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 6 – Рівні інфразвуку в лабораторії будівельних машин кафедри будівельних машин при працюючій моделі баштового крану КБ 403А**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	78	67	61	66	59	68	64	42	48	42	52	48

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 49 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 62 дБ, різниця показів – 13 дБ, що свідчить про суттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 7 – Рівні інфразвуку в лабораторії будівельних машин кафедри будівельних машин при працюючому тельфері (кран-балці)**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	68	64	57	49	47	49	42	44	48	53	67	56

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 67 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» –

82 дБ, різниця показів – 15 дБ, що свідчить про суттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 8 – Рівні інфразвуку в лабораторії будівельних машин кафедри будівельних машин при увімкненому деревообробному верстаті**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	78	69	68	62	67	82	52	48	57	46	58	48

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 78 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 98 дБ, різниця показів – 20 дБ, що свідчить про суттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 9 – Фонові рівні інфразвуку в навчальній лабораторії машин та обладнання виробництва будівельних матеріалів і конструкцій кафедри машин і обладнання технологічних процесів**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	64	60	57	54	49	46	46	39	36	36	44	39

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 40 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 51 дБ, різниця показів – 11 дБ, що свідчить про суттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 10 – Рівні інфразвуку в навчальній лабораторії машин та обладнання виробництва будівельних матеріалів і конструкцій кафедри машин і обладнання технологічних процесів при увімкненому вібромайданчику**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	65	68	64	52	49	46	47	59	39	37	35	35

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 65 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 72 дБ, різниця показів – 7 дБ, що свідчить про незначну наявність інфразвуку.

**Таблиця 11 – Рівні інфразвуку в навчальній лабораторії механіки кафедри фізики**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	78	76	73	63	58	56	53	50	52	50	46	43

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 70 дБ, рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 74 дБ, різниця показів – 4 дБ, що свідчить про несуттєву наявність інфразвуку.

**Таблиця 12 – Рівні інфразвуку в навчальній лабораторії коливальних, хвильових процесів та оптики кафедри фізики**

v, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	68	65	61	56	51	50	47	46	52	55	48	44

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 47 дБ, рівень інфразвуку за шкалою

«Lin» – 56 дБ, різниця показів – 9 дБ, що свідчить про несуттєву наявність інфразвуку.

Аналіз отриманих даних свідчить, що у частині навчальних приміщень рівні інфразвуку суттєві. Це впливає з різниці показів приладу за шкалами «Lin» та «A». В усіх обмежених приміщеннях рівні інфразвуку не перевищують гранично допустимого значення 90 дБ, але за наявності більшої кількості джерел та зовнішнього впливу на акустичну обстановку у приміщеннях значення рівнів інфразвуку можуть стати критичними.

У процесі вимірювань у рівних місцях навчальних корпусів періодично рееструвалися значення інфразвуку рівнів 75–105 дБ. Ніякої закономірності його появи не встановлено. Джерелами таких коливань можуть бути незбалансовані вентилятори вентиляційних систем, ліфтове обладнання, випадкові співпадання коливань внаслідок дорожнього руху тощо. Тому цей параметр середовища повинен періодично контролюватися. У разі системної появи інфразвуку рівнів 90 дБ і вище необхідно вживати відповідні заходи захисту студентів, викладачів і співробітників. Найбільш ефективним заходом зниження рівнів інфразвуку є його придушення у джерелі генерації. Це потребує ревізії усіх потенційних джерел, які обладнані обертовими механізмами малих частот. Для приміщень, де виконуються роботи, які потребують високої зосередженості – комп'ютерні класи, проектні майстерні, спеціалізовані лабораторії тощо можливим є застосування резонансних захисних панелей. Загальні засади проектування таких панелей надано у роботі [27].

Перспективним напрямом робіт зі зниження несприятливого впливу інфразвуку на студентів, викладачів і співробітників є комплексне обстеження акустичної обстановки у навчальних корпусах університету та прилеглої території з наступним формуванням мапи рівнів інфразвуку, що дозволить розробити адекватні організаційно-технічні заходи захисту людей від несприятливих впливів.

### Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Встановлено, що у частині навчальних приміщень значення рівнів інфразвуку наближаються до гранично допустимих значень (90 дБ). При цьому значні різниці показів рівнів приладу за шкалами «Lin» та «A» свідчать про суттєву присутність інфразвуку у загальному акустичному навантаженні на навчальне і виробниче середовище.

2. Виявлено періодичну та непередбачувану наявність у навчальних корпусах університету інфразвукових коливань зі значеннями рівнями – 95–105 дБ. Джерела підвищення інфразвукового фону не встановлені, що потребує подальших досліджень.

3. Перспективним напрямом підвищення безпеки студентів, викладачів та співробітників є комплексне обстеження приміщень та прилеглої території з наступним складанням мапи акустичного забруднення середовища. Це дозволить розробити систему адекватних заходів безпеки на принципах розумної достатності.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pawlas K., Wpływ infradźwięków i hałasu o niskich częstotliwościach na człowieka – Przegląd piśmiennictwa. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy. 2009. № 2(60), s. 27–64. URL: [https://www.researchgate.net/publication/250916608\\_Wplyw\\_infradzwiekow\\_i\\_halasu\\_o\\_niskich\\_czestotliwosciach\\_na\\_czlowieka\\_-\\_przeglad\\_pismienictwa](https://www.researchgate.net/publication/250916608_Wplyw_infradzwiekow_i_halasu_o_niskich_czestotliwosciach_na_czlowieka_-_przeglad_pismienictwa) (дата звернення: 19.05.2023).
2. Augustyńska D. Wartości graniczne ekspozycji na infradźwięki – przegląd piśmiennictwa. PiMOŚP. № 2(60), 2009. – s. 15. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Warto%C5%9Bci-graniczne-ekspozycji-na-infrad%C5%BAwi%C4%99ki-%E2%80%93-Augusty%C5%84ska/7536b19280002332fa1b44b8b94bd4adc6c509d2> (дата звернення: 19.05.2023).
3. Approved Code of Practice for the Management of Noise in the Workplace. Standards New Zealand. Published by the Occupational Safety and Health Service. Department of Labour. Wellington. New Zealand. First Edition: September 1996. Revised: October 2002. 67 p. URL: <https://docplayer.net/16928591-Approved-code-of-practice-for-the-management-of-noise-in-the-workplace.html>.
4. Wegleitung zu den Verordnungen 3 und 4 zum Arbeitsgesetz. Schweizerische Eidgenossenschaft Confederation (SECO) – Staatssekretariat für Wirtschaft. 2012. URL: [https://www.seco.admin.ch/seco/de/home/Publikationen\\_Dienstleistungen/Publikationen\\_und\\_Formulare/Arbeit/Arbeitsbedingungen/Wegleitungen\\_zum\\_Arbeitsgesetz/wegleitung-zu-den-verordnungen-3-und-4-zum-arbeitsgesetz.html](https://www.seco.admin.ch/seco/de/home/Publikationen_Dienstleistungen/Publikationen_und_Formulare/Arbeit/Arbeitsbedingungen/Wegleitungen_zum_Arbeitsgesetz/wegleitung-zu-den-verordnungen-3-und-4-zum-arbeitsgesetz.html).
5. Storm R. Health risk due to exposure of low frequency noise. Örebro University. Örebro, Sweden. 2009. URL: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:273045/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення: 20.05.2023).
6. Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound. RCE-14, Documents of Health Protection Agency. DEFRA. 2010. URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/335014/RCE-14\\_for\\_web\\_with\\_security.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/335014/RCE-14_for_web_with_security.pdf) (дата звернення: 20.05.2023).
7. Araújo Alves J., Neto Paiva F., Torres Silva L., Remoaldo P. Low-Frequency Noise and Its Main Effects on Human Health—A Review of the Literature between 2016 and 2019. Appl. Sci. 2020, 10, 5205. <https://doi.org/10.3390/app10155205>.
8. Myshchenko I., Nazarenko V., Stopa M., Maslakiewicz M. Occupational Exposure to Infrasonic and Low Frequency Noise: Actual Problems of Hygienic Standardization. Український журнал Охорона праці. 2021. 17 (4). PP. 235-244. <https://doi.org/10.33573/ujoh2021.04.235>.
9. Van Kamp I., van den Berg F. Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound. Acoustics Australia/ Australian Acoustical Society. 46(82). 2018. PP. 31-57. <https://doi.org/10.1007/s40857-017-0115-6>.
10. Baeza Moyano D., Gonzalez Lezcano R. Effects of infrasound on health: Looking for improvements in housing conditions. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2022. 28(2). PP. 809-823. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1831787>.

11. Swen M., Stefan H., Martin H., Susanne K. Can infrasound from wind turbines affect myocardial contractility? A critical review. *Noise and Health*. 2022. 24(113), PP. 96-106. URL: <https://eref.uni-bayreuth.de/id/eprint/73087/> (дата звернення: 23.05.2023).
12. Ascone L., Kling C., Wieczorek J., Koch C., Kühn S. A longitudinal, randomized experimental pilot study to investigate the effects of airborne infrasound on human mental health, cognition, and brain structure. *Scientific reports*. 2021. 11(1). PP. 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82203-6>.
13. Chaitidis G.D., Marhavilas P.K., Kanakaris V. Potential Effects on Human Safety and Health from Infrasound and Audible Frequencies Generated by Vibrations of Diesel Engines Using Biofuel Blends at the Workplaces of Sustainable Engineering Systems. *Sustainability*. 2022, 14. P. 7554. <https://doi.org/10.3390/su14137554>.
14. McKenna M.H., McComas S.L., Danielle Whitlow R., Diaz-Alvarez H., Jordan A. M., Daniel Costley R., Simpson C. P. Remote structural infrasound: Case studies of real-time infrastructure system monitoring. *Journal of Infrastructure Systems*. 2021. 27(3), 04021021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000623](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000623)
15. Keith S.E., Daigle G.A., Stinson M. R. Wind turbine low frequency and infrasound propagation and sound pressure level calculations at dwellings. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018. 144(2). P. 981-996. <https://doi.org/10.1121/1.5051331>.
16. Müller L., Kropp W., Zachos G., Forssén J. Investigating Low Frequency Sound from Traffic in a Living Room Lab. *Fortschritte der Akustik*, 2021. 4 p.
17. Sihar I. Numerical modelling of transient low-frequency sound propagation and vibration in buildings. Eindhoven: Eindhoven University of Technology. 2022. 213 p.
18. Veldboom E., van der Werf C., Incedalci Z., van den Berg F. The effect of masking noise on persons suffering from a low frequency sound. *Applied Acoustics*. 2022. Volume 191. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108681>.
19. Glyva V., Kasatkina N., Levchenko L., Tykhenko O., Nazarenko V., Burdeina N., Panova O., Bahrii M., Nikolaiev K., Biruk Y. Determining the dynamics of electromagnetic fields, air ionization, low-frequency sound and their normalization in premises for computer equipment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, 3(10-117), pp. 47-55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258939>.
20. Бурдейна Н.Б. Актуальні напрями удосконалення державних будівельних норм проектування нових і реконструкції існуючих закладів освіти. Містобудування та територіальне планування. Київ. 2023. Вип. 82. С. 43-52. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.82.43-52>.
21. Environmental noise guidelines for the European region. 2018:160. World Health Organization. URL: <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-europeanregion-2018> (дата звернення: 18.05.2023).
22. ISO 7196:1995 «Acoustics. Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements». Publication date: 1995-03. Number of pages: 6. URL: <https://www.iso.org/standard/13813.html> (дата звернення: 18.05.2023).
23. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова Міністерство охорони здоров'я від 01.12.1999 № 37. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text> (дата звернення: 18.05.2023).
24. СанПІН 42-128-4948-89 «Санітарні норми допустимих рівнів інфразвуку і низькочастотного шуму на території житлової забудови». Розробник: Головний державний санітарний лікар СРСР. [Скасавано згідно з розпорядженням Кабміну від 20.01.2016 № 94-р.] URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=66167](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66167) (дата звернення: 18.05.2023).
25. МУ 2410-81 «Производственный шум и профилактика его неблагоприятного воздействия на организм подростков», М., 1981 г. 36 с.
26. ACGIH Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®). 2010. 116 p. URL: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/> (дата звернення: 19.05.2023).
27. V. Glyva, O. Zaporozhets, L. Levchenko, N. Burdeina, V. Nazarenko. Methodological Foundations Protective Structures Development For Shielding Electromagnetic And Acoustic Fields. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. Issue No. 110. PP. 245-255. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.245-255>

Received (Надійшла) 11.12.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 07.02.2024

### Investigation of infrasound levels in educational premises and determination of conditions for their normalization

N. Burdeina

**Abstract.** The study is dedicated to solving the scientific and practical problem of normalizing infrasound levels in general classrooms, computer classrooms, specialized laboratories of higher education institutions and providing recommendations on means and measures for their normalization. An analysis of existing research, publications, and applied developments regarding measures and means of normalizing infrasound levels in educational and industrial settings was carried out. On-site measurements of infrasound levels in the premises of higher education institutions were performed. The infrasound measurement was carried out with a calibrated OKTAVA-110A device - a class 1 sound level meter with built-in octave and third-octave filters. It was found that in certain premises of higher education institutions, the infrasound values are close to the maximum permissible in accordance with European requirements - 90 dB. Significant differences in the readings of the device on the "Lin" and "A" scales indicate the significant presence of infrasound in the general acoustic pollution. At the same time, unexpected, repeated presence of infrasound levels of 95-105 dB was found in some locations of educational buildings and adjacent territories. These facts require establishing the sources of increased infrasound load on the acoustic environment and their further research. A promising direction for improving the safety of students, teachers and employees is a comprehensive survey of the premises and the surrounding territory of the university, followed by the drawing up of a map of the acoustic pollution of the environment for the development of a system of safety measures based on the principles of reasonable sufficiency.

**Keywords:** infrasound, educational classrooms, computer classes, educational laboratories.