

УДК 574.628.517

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.15.828

ШУМОЗАХИСТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКРАНІВ «ЛАМАНОВОГО» ПРОФІЛЮ

БЄЛІКОВ А. С.¹, докт. техн. наук, проф.,
ШАЛОМОВ В. А.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,
ВАРЯНИЧКО М. О.³, канд. техн. наук, доц.,
МАСЛОВА А. С.⁴, студ.

¹ Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

³ Кафедра будівельної і теоретичної механіки та опору матеріалів, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: varianichko.mari@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4546-1383

⁴ Факультет цивільної інженерії та екології, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 761-07-21, e-mail: 20045-cb.maslova@365.pgasa.dp.ua

Анотація. *Постановка проблеми.* У містах України діють цілі системи міських джерел шуму, а саме: автомобільний транспорт, промислові та комунальні підприємства, рейковий транспорт (трамваї, залізниця), повітряний транспорт, водний транспорт, ігрові та господарські майданчики, стадіони та спортивні майданчики тощо. Частина із цих джерел шуму діє на селитебній території, а частина – на її межах. На селитебній території міста найбільш потужне джерело шуму, яке частіше зустрічається, – транспортні потоки магістральними вулицями, а також вулиці різного призначення, стоянки, гаражі, різнорівневі розв'язки автомагістралей, станції технічного обслуговування автомобілів та ціла система громадських будівель та споруд, що обслуговуються різноманітним громадським та іншими видами транспорту. *Мета статті* – з'ясувати можливість збільшення ефективності шумозахисту у конкретній ситуації, без збільшення геометричних розмірів екрана. *Висновок.* Застосування шумозахисних екранів «ламаного» профілю у певних містобудівних умовах може виявитися значно ефективнішим, ніж застосування плоских екранів. Екрани «ламаного» профілю можуть являти собою не тільки ті, що захищають безпосередньо джерело шуму конструкції, й різні павільйони, навіси, які використовуються для різних цілей, далекі від джерела шуму і верхня поверхня профільних контурів примігстральних будівель (магазинів, гаражів) тощо. Якщо в результаті розрахунку екрана «ламаного» профілю верхня «зламана» частина екрана створить великий перекидний момент, утримати конструкцію в рівновазі можна буде не тільки шляхом посилення фундаменту. У цьому випадку можна застосувати різні діафрагми жорсткості, спеціальні троси-розтяжки (ванти), які підтримують похилу частину, тощо, залежно від особливостей конкретних містобудівних умов. Використання шумозахисних екранів «ламаного» профілю дозволить зменшити висоту позначки найвищого горизонту конструкції та істотно скоротити витрати матеріалу на її виготовлення.

Ключові слова: шумозахист; джерело шуму; шумозахисні екрани; акустика; рівень звуку; безпека життєдіяльності

NOISE PROTECTION USING “BROKEN” PROFILE SCREENS

BIELIKOV A.S.¹, Dr. Sc(Tech.), Prof.,
SHALOMOV V.A.^{2*}, Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.,
VARIANYCHKO M.O.³, Cand. Sc.(Tech.), Prof.,
MASLOVA A.S.⁴, Stud.

¹ Department of Life Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of Life Safety, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCIDID: 0000-0002-6890-932X

³ Department of Building and Theoretical Mechanics and Strength of Materials, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: varianichko.mari@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4546-1383

⁴ Faculty of Civil Engineering and Ecology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38(097) 761-07-21, e-mail: 20045-cb.maslova@365.pgasa.dp.ua

Abstract. Problem statement. In the cities of Ukraine there are entire systems of urban noise sources, namely: road transport, industrial and municipal enterprises, rail transport (trams, railways), air transport, water transport, playgrounds, stadiums and sports grounds, etc. Some of these noise sources operate in the residential area, and some – on its borders. In the residential area of the city, the most powerful source of noise, which is more common, are traffic flows through main streets. At the same time there is a whole system of sources of traffic noise. These are streets of various purposes, parking lots, garages, multi-level interchanges of highways, car service stations and a whole system of public buildings and structures served by various public and other modes of transport. **The purpose of this article** is ability to increase the effectiveness of noise protection in a particular situation, without increasing the geometric dimensions of the screen. **Conclusions.** The use of noise protection screens «broken» profile under certain urban conditions may be much more effective than the use of flat screens. Screens «broken» profile can be not only those that directly protect the noise source of the structure, but it can be different pavilions, canopies used for various purposes, away from the noise source and the upper surface of the profile contours of main buildings (shops, garages) etc. If, as a result of calculating the screen of the «broken» profile, the upper «broken» part of the screen will create a large tipping moment, it will be possible to keep the structure in balance not only by strengthening the foundation. In this case, you can use different stiffness diaphragms, special extension cables that support the sloping part, etc., depending on the specifics of specific urban conditions. The use of noise protection screens «broken» profile will reduce the height of the mark of the highest horizon of the structure and significantly reduce the cost of material for its manufacture.

Keywords: noise protection; noise source; noise protection screens; acoustics; sound level; life safety

Постановка проблеми. У різних містах України діють цілі системи міських джерел шуму, а саме: автомобільний транспорт, промислові та комунальні підприємства, рейковий транспорт (трамваї, залізниця), повітряний, водний транспорт, ігрові та господарські майданчики, стадіони та спортивні майданчики тощо.

Аналіз публікацій. Частина із цих джерел шуму діє на селитебній території, а частина – на її межах. На селитебній території міста найбільш потужне джерело шуму, яке частіше зустрічається, – це транспортні потоки магістральними вулицями, а також вулиці різного призначення, стоянки, гаражі, різнорівневі розв'язки автомагістралей, станції технічного обслуговування автомобілів та ціла система громадських будівель та споруд, що обслуговуються різноманітним громадським та іншими видами транспорту.

У містобудівній акустиці ми маємо справу зі стаціонарними зовнішніми джерелами шуму у вигляді елементів генерального плану. Вулиці та інші джерела шуму з автомобільним транспортом належать до джерел не постійного шуму.

Нагадаємо, що постійним вважається джерело шуму, рівень звуку якого змінюється в часі не більше ніж на 5 дБА при вимірах на тимчасовій характеристиці «повільно» шумоміром за ДСТУ EN ISO 3746:2016 Акустика. Визначення рівнів звукової потужності та рівнів звукової енергії джерел шуму за звуковим тиском

виконується згідно з нормами [1-3].

Цей не постійний шум транспортних потоків характеризується еквівалентним (за енергії) рівнем звуку $L_{\text{Аекв}}$, дБА.

З усіх відомих містобудівних засобів захисту від транспортного шуму найефективніший пристрій шумозахисних екранів між джерелом шуму та об'єктом захисту.

Відомо, що величина зниження рівня звуку екраном-стілкою перебуває у прямій залежності від величини « δ », різниці довжин «обхідного» та прямого променів [4–7] (рис. 1):

$$\delta = (a + b) - c. \quad (1)$$

Збільшення « δ » всього на один метр може викликати збільшення шумозахисної ефективності екрана-стілки від 1 до 9 дБА [7], залежно від величини « δ ».

Мета статті – з'ясувати можливість збільшення « δ » у конкретній ситуації, без збільшення геометричних розмірів екрана.

Результати досліджень. Для конкретної ситуації, а саме взаєморозташування джерела шуму, розрахункової точки (точка на поверхні об'єкта, що захищається, для якої шумозахисна ефективність застосовуваного екрана найменша) і екрана між ними, величина прямого променя « c » незмінна. Отже, збільшити « δ » можна лише за рахунок збільшення суми променів « a » та « b » ($a+b$) (рис. 1).

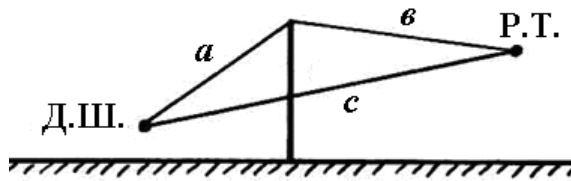


Рис. 1 Схема розміщення джерела шуму (Д.Ш.) та розрахункової точки (Р.Т.)

Виконаємо ряд додаткових геометричних побудов та прийmemo низку додаткових позначень (рис. 2).

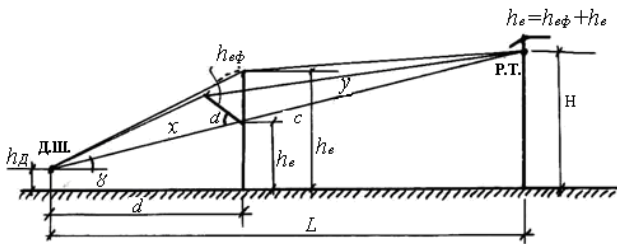


Рис. 2 Додаткова геометрична побудова розміщення джерела шуму та розрахункової точки

Виконаємо спробу «зламати» цей профіль екрана в точці його перетину з променем «с». Для цього обернемо верхню частину екрана навколо точки зламу. Отже, з виконаних побудов видно, що сума (a + b) за такого обертання змінюватиметься. Тепер визначимо, в якому ж положенні верхньої «зламаної» частини екрана ця сума буде максимальною.

З отриманих трикутників, сторони яких відповідно a, h_эф, x та b, h_эф, y визначимо «a» і «b».

Відповідно до теореми косинусів:

$$a = \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2 - 2 \frac{d \cdot h_{эф}}{\cos \gamma} \cos \alpha}, \quad (2)$$

$$b = \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2 - 2 \frac{l \cdot h_{эф}}{\cos \gamma} \cos(180 - \alpha)}. \quad (3)$$

Простежимо, як змінюється довжина відрізків «a» та «b» за зміни кута α :

1) від 0^0 до 90^0 ; 2) від 90^0 до 180^0 .

за $\alpha = 0^0$

$$a = \frac{d}{\cos \gamma} - h_{эф}, \quad (4)$$

$$b = \frac{l}{\cos \gamma} + h_{эф}, \quad (5)$$

за $\alpha = 90^0$

$$a = \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2}, \quad (6)$$

$$b = \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2}, \quad (7)$$

за $\alpha = 180^0$

$$a = \frac{d}{\cos \gamma} + h_{эф}, \quad (8)$$

$$b = \frac{l}{\cos \gamma} - h_{эф}. \quad (9)$$

За зміни α від 0^0 до 90^0 відрізок «a» збільшиться на величину:

$$\Delta a = \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2} - \left(\frac{d}{\cos \gamma} - h_{эф} \right), \quad (10)$$

а відрізок «b» зменшиться на величину:

$$\Delta b = \frac{l}{\cos \gamma} + h_{эф} - \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2}. \quad (11)$$

Визначимо різницю між абсолютними величинами прирощень «a» і «b», тобто $\Delta a - \Delta b$.

$$\left(\sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2} - \left(\frac{d}{\cos \gamma} - h_{эф} \right) \right) - \left(\frac{l}{\cos \gamma} + h_{эф} - \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2} \right) = (a + b) - c. \quad (12)$$

Ця різниця завжди позитивна через те, що сума двох сторін трикутника завжди більша за третю сторону.

Із цього випливає, що за зміни кута α від 0^0 до 90^0 приріст відрізка «a» за абсолютною величиною випереджає зменшення відрізка «b», тобто якщо $\alpha = 90^0$, сума (a + b) буде максимальною.

У разі зміни α від 90^0 до 180^0 відрізок «a» збільшується на величину:

$$\Delta a = \left(\frac{d}{\cos \gamma} + h_{эф} \right) - \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2}, \quad (13)$$

а відрізок «b», продовжуючи зменшуватися, змінить свою довжину на величину:

$$\Delta b = \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{эф}^2} - \left(\frac{l}{\cos \gamma} + h_{эф} \right), \quad (14)$$

$$\left(\frac{d}{\cos \gamma} + h_{ef}\right) - \sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - \sqrt{\frac{l^2}{\cos^2 \gamma} + h_{ef}^2} - \left(\frac{l}{\cos \gamma} + h_{ef}\right) = c - (a + e) \cdot \quad (15)$$

Ця величина завжди негативна. Отже, продовжуючи збільшувати кут α від 90^0 до 180^0 , збільшення відрізка «а» починає дедалі більше відставати від збільшення відрізка «в», тобто сума $(a + e)$ починає зменшуватись.

З наведеного розрахунку випливає, що сума $(a + e)$ приймає максимум за $\alpha = 90^0$ (табл.).

Розглянемо конкретний приклад із такими вихідними даними:

$$\alpha = 30^0; h_{ef} = 5 \text{ м}; d = 10 \text{ м}; l = 50 \text{ м}.$$

Таблиця

Дані розрахунку суми $(a + e)$ для різних кутів α

α	0	30	45	60	90	120	135	150	180
a+e	69,28	69,8	70,1	70,3	70,5	70,3	70,1	69,8	69,28

За допомогою ПЕОМ розраховано « δ » для тринадцяти ситуацій, а саме:

$$L = 100, 50, 20 \text{ м}$$

$$H = 40, 30, 15, 6 \text{ м}$$

$$h_e = 10, 7, 5 \text{ м}$$

$$h_d = 1 \text{ м}.$$

« δ » розраховувалася за формулою:

$$\delta = (a + e) - c = \left(\sqrt{\frac{d^2}{\cos^2 \gamma} + (h_e - dtg \gamma + h_d)^2} + \sqrt{\left(\frac{l-d}{\cos \gamma}\right)^2 + (h_e - dtg \gamma + h_d)^2}\right) - \frac{L}{\cos \gamma} \cdot \quad (16)$$

Спочатку розраховували « $\delta_{пл}$ » для плоских екранів тринадцяти ситуацій. Згодом, для тих самих тринадцяти ситуацій, не змінюючи h_e , розраховували $\delta_{л.н.}$ для екранів «ламаного» профілю. « δ » порівнювалися між собою:

$$\Delta \delta = \delta_{л.н.} - \delta_{пл.}, \quad (17)$$

де: $\delta_{л.н.}$ – ефективність екрана «ламаного» профілю; $\delta_{пл.}$ – ефективність екрана плоского профілю.

Аналіз отриманих результатів показав, що в деяких ситуаціях заміна плоского

екрана екраном «ламаного» профілю дуже ефективна. Так, за $L = 100 \text{ м}$; $h_e = 10 \text{ м}$ зі збільшенням висоти розрахункової точки (H) ефективність екрана «ламаного» профілю проти плоского екрана зростає і за $H = 40 \text{ м}$ $\Delta \delta = 2,29 \text{ м}$.

Зі зменшенням L до 50 м збільшення ефективності $\Delta \delta = 3,25 \text{ м}$.

Позитивна різниця $\Delta \delta$ збільшується за зменшення висоти екрана (h_e). Якщо за $d = 5 \text{ м}$; $L = 50 \text{ м}$; $H = 15 \text{ м}$; $h_e = 10 \text{ м}$ вона дорівнює $\Delta \delta = 1,48 \text{ м}$, то за $h_e = 7 \text{ м}$ $\Delta \delta = 3,38 \text{ м}$, а за $h_e = 5 \text{ м}$ $\Delta \delta = 4,40 \text{ м}$.

Відповідно до [7] таке збільшення « δ » підвищить шумозахисну ефективність екрана на 2,6 дБА.

Ми склали та прорахували машинну програму з пошуку екстремальних значень $\Delta \delta$. Геометричні фактори, що характеризують містобудівну ситуацію, змінювалися у таких межах:

$$H = 5 \div 40 \text{ м з кроком } 5 \text{ м}$$

$$L = 15 \div 150 \text{ м з кроком } 15 \text{ м}$$

$$h_d = 1, 3, 5 \text{ м} \quad h_e = 1 \div 15 \text{ м з кроком } 1 \text{ м}$$

$$d = 3 \div 50 \text{ м з кроком } 5 \text{ м}.$$

Результати обчислень показали, що « $\Delta \delta$ » збільшується за

$$h_e \rightarrow \max; L \rightarrow \min;$$

$$d \rightarrow \min; h_d \rightarrow \max.$$

За $h_d = 1 \text{ м}$ функція $\Delta \delta$ набирає максимум у такій ситуації:

$$h_e = 15 \text{ м} \quad H = 20 \text{ м} \quad L = 15 \text{ м} \quad d = 3 \text{ м}.$$

$$\Delta \delta = \delta_{л.н.} - \delta_{пл.} = 11,81 - 3,11 = 8,7 \text{ м}$$

За $h_d = 3 \text{ м}$ функція « $\Delta \delta$ » набирає максимуму за такої ситуації: $h_e = 15 \text{ м}$ $H = 15 \text{ м}$ $L = 15 \text{ м}$ $d = 3 \text{ м}$.

$$\Delta \delta = 18,75 - 5,16 = 13,6 \text{ м}.$$

За $h_d = 5 \text{ м}$ функція « $\Delta \delta$ » набирає максимум за такої ситуації і дорівнює:

$$\Delta \delta = 23,39 - 4,41 = 18,98 \text{ м}.$$

Згідно з [5; 7] для $h_d = 1 \text{ м}$ (перший випадок із трьох, наведених вище) шумозахисна ефективність екрана «ламаного» профілю більша ефективності

екрана плоского на 8,56 дБА, для $h_d = 3$ м переважна ефективність становить 8,29 дБА; для $h_d = 5$ м – 10,73 дБА.

Проведені розрахунки показують, що заміна екрана «ламаного» профілю на плоский, який рівний за шумозахисною ефективністю, екран в умовах останньої ситуації ($h_d = 5$ м; $h = 15$ м; $H = 15$ м; $L = 15$ м, $d = 3$ м) викличе необхідність збільшити його висоту з 15 м до 29, тобто у 1,93 раза. Через це збільшаться витрати матеріалу на виготовлення погонної одиниці конструкції, а значить, і вартість її збільшиться.

Висновки. Застосування шумозахисних екранів «ламаного» профілю у певних містобудівних умовах може виявитися значно ефективнішим, ніж застосування плоских екранів. Екрани «ламаного» профілю можуть являти собою не тільки ті, що захищають безпосередньо джерело шуму конструкції, це можуть бути різні

павільйони, навіси, які використовуються для різних цілей, далека від джерела шуму і верхня поверхні профільних контурів примігстральних будівель (магазинів, гаражів) тощо.

Якщо в результаті розрахунку екрана «ламаного» профілю верхня «зламана» частина екрана створить великий перекидний момент, утримати конструкцію в рівновазі можна буде не тільки шляхом посилення фундаменту. У цьому випадку можна застосувати різні діафрагми жорсткості, спеціальні троси-розтяжки (ванти), які підтримують похилу частину, тощо, залежно від особливостей конкретних містобудівних умов.

Використання шумозахисних екранів «ламаного» профілю дозволить зменшити висоту позначки найвищого горизонту конструкції та істотно скоротити витрати матеріалу на її виготовлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.1–31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму [Текст]; введ. 27.12.2013. Київ : Мінрегіон України, 2014. 54 с.
2. ДСТУ EN ISO 3746:2016. Акустика. Визначення рівнів звукової потужності та рівнів звукової енергії джерел шуму за звуковим тиском [Текст]; введ. 01.01.2018. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 44 с.
3. ДСТУ–Н Б В.1.1–33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій [Текст]; введ. 01.01.2014. Київ : Мінрегіон України, 2014. 45 с.
4. Сафонов В. В., Беліков А. С., Папірник Р. Б. та ін. Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей : підруч. під заг. ред. А. С. Белікова. Дніпро : Журфонд, 2020. 336 с.
5. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник. Москва : Университетская книга, Логос, 2008. 424 с.
6. Беліков А. С., Болібрех Б. В., Шаломов В. А. та ін. Основи охорони праці : підруч. за заг. ред. А. С. Белікова. Дніпро : ПП «Кулик В. В.», 2019. 452 с.
7. Самойлюк Е. П., Денисенко В. И., Пилипенко А. П. Борьба с шумом в населенных местах. Київ : Будівельник, 1981. 144 с.

REFERENCES

1. DBN V.1.1 – 31:2013. *Zakhyst terytorii, budynkiv i sporud vid shumu* [Protection of territories, buildings and structures from noise]. Kyiv : Minrehion Ukrainy Publ., 2014, 54 p. (in Ukrainian).
2. DSTU EN ISO 3746:2016. *Akustyka. Vyznachennia rivniv zvukovoi potuzhnosti ta rivniv zvukovoi enerhii dzhherel shumu za zvukovym tyskom* [Acoustics. Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources by sound pressure]. Kyiv : DP «UkrNDNTs» Publ., 2018, 44 p. (in Ukrainian).
3. DSTU–N B V.1.1–33:2013. *Nastanova z rozrakhunku ta proektuvannia zakhystu vid shumu selbyshchnykh terytorii* [Guidelines for the calculation and design of noise protection of residential areas]. Kyiv : Minrehion Ukrainy Publ., 2014, 45 p. (in Ukrainian).
4. Safonov V.V., Bielikov A.S., Papirnyk R.B., Ivanov S.V., Didenko L.M., Pylypenko O.V., Lapshin O.O., Doronin E.V., Shatov S.V. and Shalomov V.A. *Inzhenerni rishennya z ohoroni praci pri rozrobci diplomnih proektiv inzhenerno-budivel'nih special'nostej* [Engineering solutions for labor protection in the development of diploma projects in civil engineering]. Dnipro : Zhurfond Publ., 2020, 336 p. (in Ukrainian).
5. Ivanov N.I. *Inzhenernaia akustyka. Teoryia y praktyka borby s shumom* [Engineering acoustics. Theory and practice of noise control]. Moscow : Unyversytetskaia knyha Publ., Lohos, 2008, 424 p. (in Russian).

6. Bielikov A.S., Bolibruh B.V., Shalomov V.A., Safonov V.V., Tretiakov O.V., Hudozhnik D.V., Sharanova Yu.G. and Nesterenko S.V. *Osnovi ohoroni praci* [Basics of labor protection]. Dnipro : PP «Kulik V. V.» Publ., 2019, 452 p. (in Ukrainian).

7. Samoiliuk E.P., Denysenko V.Y. and Pylypenko A. P. *Borba s shumom v naseleennykh mestakh* [Noise control in populated areas]. Kyiv : Budivelnyk Publ., 1981, 144 p.

Надійшла до редакції: 11.01.2022 р.