

УДК 534.2

В.П. Заєць канд.тех.наук., **С.Г. Котенко**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
кафедра акустики та акустoeлектроніки,
вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м. Київ, 03056, Україна.

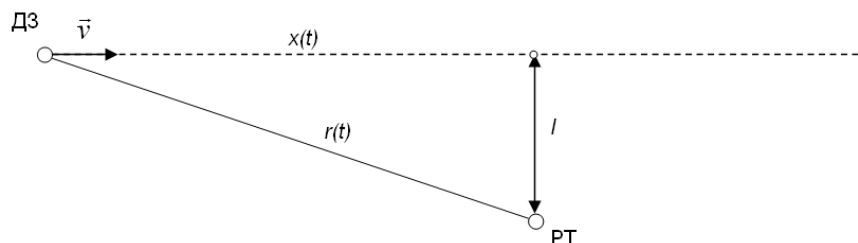
Звук рухомого точкового джерела

Одним з найбільш розповсюджених джерел шуму є транспортні потоки. В багатьох випадках транспортні потоки створюють надмірні рівні шуму, що призводить до збільшення випадків захворювання людей. Велика кількість публікацій [1-3] присвячених цій проблемі, за останній час свідчить, що остаточно дане питання не розв'язане. В статті запропонована математична модель для знаходження часової залежності звукового тиску при рівномірному русі джерела звуку. Одержані результати мають бути враховані при проектуванні шумозахисних екранів. Библ. 6, рис. 5.

Ключові слова: рухоме джерело; ефект Допплера; захист від автомобільного шуму; шумозахисні екрани.

Вступ

Рухомі джерела шуму оточують нас повсюди, це – потоки автомобільного та залізничного транспорту. Саме ці джерела звуку є причиною того, що до 70% сельбищної території в містах і селищах, які розташовані біля транспортних магістралей, перебувають в зоні над нормованих рівнів шуму. Як показує час, найбільш дієвим засобом зменшення шуму транспорту є улаштування шумозахисних екранів – штучних суцільних стінок, що створюють зону акустичної тіні та зменшують рівні звукового тиску на території за екраном.



ДЗ – джерело звуку; РТ – розрахункова точка

Рис. 1. Схема взаємного розташування джерела звуку та розрахункової точки

В даній статті буде розглянута дещо спрощена задача, а саме будемо вважати, що рух джерела звуку є рівномірним тобто $v(t) = v = \text{const}$.

Майже всі публікації [1-3], що присвячені ефективності шумозахисних екранів розглядають джерело шуму (сферичне чи циліндричне), як нерухомий об'єкт. Однак найбільшого застосування шумозахисні екрани знайшли для зниження шуму як раз від рухомих об'єктів таких як транспорт.

Тому метою даної статті є визначення часових та частотних характеристик рухомого джерела звуку. Це дасть змогу більш якісніше оцінювати шумове навантаження від транспортних потоків та прогнозувати ефективність шумозахисних екранів.

1. Постановка задачі

Для того щоб ефективно боротися з надмірними рівнями шуму, необхідно досконало знати часові та частотні характеристики шуму, що надходить в розрахункову точку. Тож розглянемо наступну задачу: необхідно знайти як змінюється шум на території житлової забудови від дороги по якій рухається автомобіль. Дана фізична і суто побутова задача може бути математично інтерпретована наступним чином: знайти часову залежність звукового тиску в розрахунковій точці, що знаходиться на відстані l від дороги, по якій рухається зі швидкістю $v(t)$ точкове джерело звуку (рис. 1). Причому швидкість руху $v(t)$ менша за швидкість звуку в середовищі c .

Таке математичне формулювання задачі наближене до дійсності, оскільки відстані на яких розташована житлова забудова, від дороги

значно більші розмірів автомобіля і тому автомобіль можна вважати точковим джерелом звуку; зазвичай швидкість з якою рухаються автомобілі, не перевищує 180 км/год або 50 м/с, що менше швидкості звуку в повітрі ($c=340$ м/с).

2. Розв'язання

2.1. Амплітуда звукового тиску

Огляд літературних джерел [1,3] показав, що аналітичного повного і точного розв'язку даної задачі й досі не існує. Тому розв'яжемо задачу числовим способом розбивши її на дві частини. Перша – знайдемо закон зміни амплітуди звукового тиску від рухомого точкового джерела з урахуванням часу розповсюдження звуку від джерела до розрахункової точки (рис. 1).

Як відомо [4], амплітуда звукового тиску точкового джерела обернено пропорційна до відстані, тому можемо записати:

$$p(t + \tau) = p_0 \cdot \frac{1}{r(t)} \quad (1)$$

де p_0 – амплітуда звукового тиску на відстані 1м; $r(t)$ – відстань, що була між джерелом звуку та розрахунковою точкою в момент часу (t); $p(t + \tau)$ – амплітуда звукового тиску, як функція часу; τ – час розповсюдження звуку від джерела до розрахункової точки;

$$\tau = \frac{r(t)}{c}, \quad (2)$$

де c - швидкість розповсюдження звукових хвиль в середовищі.

За умови рівномірного руху джерела звуку зі швидкістю v можна записати:

$$r(t) = \sqrt{[x(t)]^2 + l^2} = \sqrt{(x_0 + v \cdot t)^2 + l^2}, \quad (3)$$

де x_0 проекція відстані між джерелом звуку та розрахунковою точкою на напрямку руху в час $t = 0$; деяка довільна величина.

З рівнянь (1) – (3) отримуємо:

$$p \left(t + \frac{\sqrt{(x_0 + v \cdot t)^2 + l^2}}{c} \right) = p_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{(x_0 + v \cdot t)^2 + l^2}}. \quad (4)$$

Використовуючи вираз (4), було проведено розрахунки амплітуди звукового тиску як функції часу. Результати розрахунків наведено на рисунках 2 та 3.

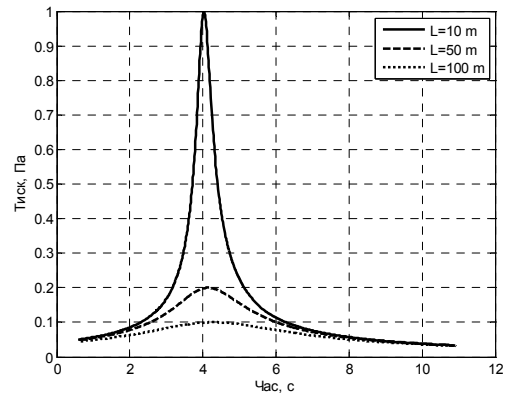


Рис. 2. Графіки залежності звукового тиску в розрахунковій точці від часу за різних відстаней ($x_0 = 200$ м, $v = 50$ м/с)

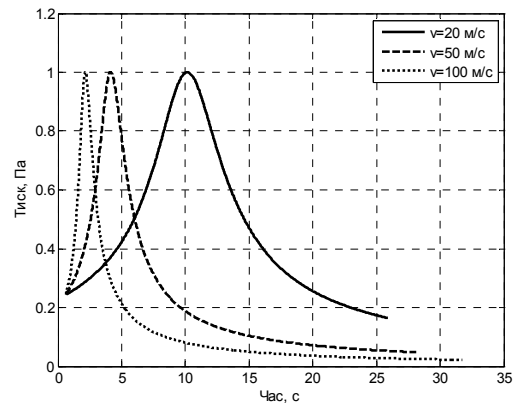


Рис. 3. Графіки залежності тиску в розрахунковій точці від часу за різних швидкостей v ($x_0 = 200$ м, $l = 50$ м)

2.2. Частота звуку

Як відомо [4], якщо джерело звуку рухається відносно нерухомого приймача, то частота звуку змінюється в зв'язку із виникненням ефекту Доплера. В даний час існує деяка незгодженість з математичним описом даного ефекту [5], тому скористаємось найбільш класичним варіантом [5]:

$$f = f_0 \frac{1}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}, \quad (5)$$

де θ - кут між вектором швидкості джерела звуку та вектором швидкості розповсюдження звукових хвиль від джерела звуку до приймача; f_0 - частота звуку нерухомого джерела.

Тоді звук, що випромінюється джерелом в напрямку приймача в деякий момент часу t на-

дійде до приймача з деякою затримкою τ , який описується виразом (2), при цьому частота звуку, що надійшов визначається за формулою (5) в момент часу t . За рівномірного руху джерела звуку ($v = const$, рис. 1) можна представити:

$$f(t + \tau) = f_0 \frac{1}{1 - \frac{v}{c} \cos(\theta(t))} \quad (6)$$

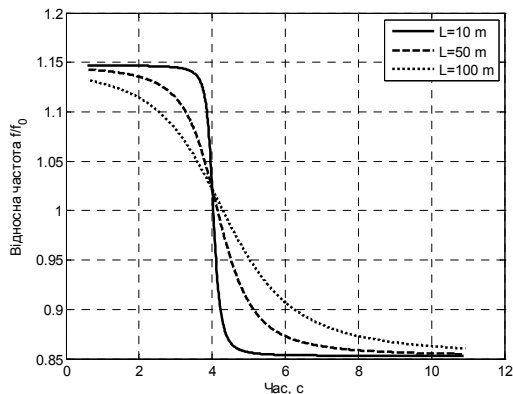


Рис. 4. Графіки залежності відносної частоти в розрахунковій точці від часу за різних відстаней l ($x_0 = 200\text{ м}$, $v = 50\text{ м/с}$)

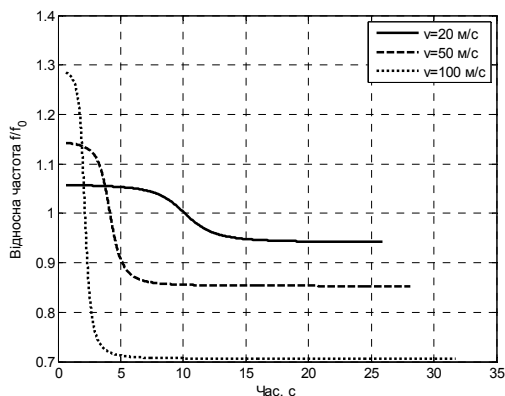


Рис. 5. Графіки залежності відносної частоти в розрахунковій точці від часу за різних швидкостей v ($x_0 = 200\text{ м}$, $l = 50\text{ м}$)

Виходячи з геометрії задачі (рис. 1), можемо представити:

$$\cos(\theta(t)) = \frac{x(t)}{r(t)}, \quad (7)$$

і з урахуванням виразів (2) і (3) запишемо

$$f \left(t + \frac{\sqrt{(x_0 + v \cdot t)^2 + l^2}}{c} \right) = f_0 \frac{1}{1 - \frac{v}{c} \frac{(x_0 + v \cdot t)}{\sqrt{(x_0 + v \cdot t)^2 + l^2}}} \quad (8)$$

За отриманим виразом (8) були проведені числові розрахунки та побудовані графіки рис. 4 та 5 зміни відносної частоти звуку $\left(\frac{f}{f_0} \right)$ з часом.

3. Обговорення результатів

В даній статті розглянута спроба знаходження звукового тиску в деякій точці простору від рухомого джерела звуку. Результати математичного моделювання показують, що звуковий тиск, який надходить до приймача від рівномірно рухомого джерела описується складною функціональною залежністю, що виражається неявною функцією (4). Причому дану функціональну залежність можна віднести до так званих «дзвоноподібних» функцій. Детальний аналіз розрахунків показує, що часова залежність не є симетричною відносно свого екстремуму, і чим вища швидкість руху тим більша асиметричність.

Що стосується частотної залежності, то бачимо, що дані залежності є монотонними і асимптотично обмежені виразом $f/f_0 = c/(c \pm v)$. Функціональна залежність нагадує залежність типу \arctg , але при цьому перегин функції відбувається не в точці з ординатою 1, а в деякій точці, яка залежить від швидкості руху та відстані від лінії руху та розрахунковою точкою.

Висновки

Побудована математична модель дозволяє показати зміну звукового тиску та частоти звуку які спостерігаються в розрахунковій точці від рівномірно рухомого джерела звуку. Дані результати дозволять оцінити вплив швидкості руху джерела звуку на ефективність шумозахисних екранів. Розрахунки показують, що зміна частот звуку збільшується зі збільшенням швидкості руху і для швидкостей 180 км/год (50 м/с) становить до 30% від частоти звуку нерухомого джерела. Даний факт може впливати на ефективність шумозахисних екранів які застосовуються для зниження шуму рухомих джерел, таких як транспортні потоки.

Список використаних джерел

1. *Menounou P.* Experimental study of the diffracted sound field around jagged edge noise barriers / Menounou P., Ho You J. // J. Acoust. Soc. Amer. – 2004. – Т. 116, № 5. – Р. 2842 – 2854.
2. Будівельно-акустичні засоби зниження транспортного шуму автомагістралей / Петрук В.Г., Васильківський І.В., Кватернюк С.М., Тищенко О.О. // І-й Всеукраїнський з'їзд екологів: міжнар. наук.-техн. конф., 4–7 жовтня 2006 р.: тези допов. – Вінниця, 2006. – С. 228.
3. *Fahim A.* Noise Prediction for Outdoor Cooling Systems; Case Study / Ahmed A. Medhat A. Fahim and Hoda S. Seddeq // J. of Am. Sci. – 2010 – Т.6, № 11 P. 899 – 905.
4. *Лепендин Л.Ф.* Акустика: Учеб. пособие для ВТУЗов / Л.Ф.Лепендин – М.: Высш. Школа, 1978. – 448 с.
5. *Купряев Н.В.* Об учебнике О.Е. Акимова «Естествознание. Курс лекций». – УФН, том 175, № 9, 2005. С. 1013–1015.
6. *У.И. Франкфурт, А.М. Френк* «Оптика движущихся тел», Наука, М., 1972

Поступила в редакцию 21 октября 2015 г.

УДК 534.2

В.П. Заец, канд. техн. наук, **С.Г. Котенко**

Национальный технический университет Украины,
«Киевский политехнический институт», кафедра акустики и акустоэлектроники,
ул. Политехническая, 16, корпус 12, г. Киев, 03056, Украина.

Звук движущегося точечного источника

Одним из наиболее распространенных источников шума являются транспортные потоки. Во многих случаях транспортные потоки создают чрезмерные уровни шума, что приводит к увеличению случаев заболевания людей. Большое количество публикаций [1-3], посвященных этой теме, в последнее время показывает, что окончательно данный вопрос не решен. В статье предложена математическая модель для нахождения временной зависимости звукового давления при равномерном движении источника звука. Полученные результаты должны учитываться при проектировании шумозащитных экранов. Бібл. 6, рис. 5.

Ключевые слова: движущийся источник; эффект Доплера; защита от автомобильного шума; шумозащитные экраны.

UDC 534.2

V. Zaets, Ph.D., **S. Kotenko**

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
faculty and speakers acoustoelectronics,
Polytechnique St., building 12, Kyiv, 03056, Ukraine.

Sound of the moving point source

One of the most common noise sources are traffic streams. In many cases traffic streams create excessive levels of noise resulting in an increase of human diseases. Therefore, the task of reducing the level of noise is important and vital.

Many scientists have paid attention to this issue, but the large number of publications [1-3] in recent years shows that the issue is not completely resolved. This article discusses finding the time dependence of the sound pressure at the sound source moving. References 6, Fig. 5.

Keywords: moving source; the Doppler effect; protection from road noise; noise barriers.

References

1. *Menounou, P., Ho You, J.* (2004). Experimental study of the diffracted sound field around jagged edge noise barriers., J. Acoust. Soc. Amer. T. 116, № 5. P. 2842 - 2854.
2. *Petruk, V. G., Vasilkovsky, I. V., Kvaterniuk, S. M., Tishchenko, A. A.* (2006). Construction and acoustic means of reducing traffic noise motorways. I All-Ukrainian congress of ecologists: Intern. scientific-technical. Thesis reported. Vinnitsja, P. 228. (Ukr)
3. *Fahim, A., Ahmed, A., Medhat, A., Fahim and Hoda, Seddeq, S.* (2010). Noise Prediction for Outdoor Cooling Systems; Case Study. J. of Am. Sci. V.6, № 11, P. 899 - 905.
4. *Lependin, L. F.* (1978). Acoustics: Proc. aid for technical colleges. M.: Higher. School, P.448. (Rus)
5. *Kupryaev, N. V.* (2005). About schoolbook O.E. Akimova Natural history. Lecture course. Phys, Vol 175, P. 1013-1015. (Rus)
6. *Frankfurt, U. I., Frank, A. M.* (1972). Optics of Moving Bodies. Nauka, Moscow. (Rus)