

## Висновки

Запропоновані моделі дають змогу будувати достатньо складні схеми технологічних процесів та імітувати поведінку.

1. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. – М.: ГФМЛ, 1960. 2. Нестор Н.І. Застосування характеристичних функцій для аналізу похибок технологічних процесів // В зб.: “Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР мікроелектроніки”. Тези доп. 4-ї Міжнар. наук.-техн. конф. – Львів, 1997. 3. Мотика І.І., Нестор Н.І. Аналіз похибок технологічних операцій з використанням характеристичних функцій // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”, 1998. – № 327: “Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика”. 4. Мотика І.І., Недоступ Л.А., Нестор Н.І. Моделі технологічних процесів для статистичного аналізу // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”, 2009. – № 651: “Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика”. 5. Мотика І.І., Недоступ Л.А., Нестор Н.І. Стандартний розподіл імовірностей для аналізу похибок технологічних процесів // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – № 564: “Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика”. 6. Моделі операцій контролю для аналізу точності технологічних процесів // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”, 2002. – № 444: “Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика”. 7. Бобало Ю.А., Кіселичник М.Д., Недоступ Л.А. Системний аналіз якості виробництва прецизійної радіоелектронної апаратури / За ред. Л.А. Недоступа. – Львів: Держ. ун-т “Львівська політехніка”, 1996.

УДК 534.629

М.Р. Мельник

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра систем автоматизованого проектування

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШУМОЗАХИСНИХ БАР’ЄРІВ

© Мельник М.Р., 2010

Наведено результати дослідження точності методів визначення ефективності шумозахисних бар’єрів. Розроблено і реалізовано підсистему порівняння методів визначення ефективності шумозахисних бар’єрів.

Ключові слова: шумозахисний бар’єр, число Френеля, методи визначення ефективності шумозахисних бар’єрів.

The results of the study of accuracy determining methods of the noise control barriers performance. Subsystem for comparing the effectiveness of noise control barriers was developed and implemented methods.

Keywords: noise barriers, Fresnel number, noise barriers efficiency methods.

### Вступ

Протягом останніх років в Україні швидкими темпами зростає кількість автомобілів на душу населення. Тенденція такого зростання унаочнена на рис. 1.

Щорічне зростання кількості автомобілів пояснюється тим, що Україна посідає 9-те місце в Європі за кількістю проданих нових автомобілів [3]. Це зумовлює збільшення інтенсивності транспортних потоків і, відповідно, зростання шуму. Кількість автомобілів на душу населення в Україні

не є дуже великою, порівнюючи з європейськими країнами, проте їхня концентрація у великих містах призводить до значного збільшення рівня шуму. Постає проблема утримання рівня шуму у межах допустимих норм відповідно до Державних будівельних норм України (ДБН 360 – 92) [4].

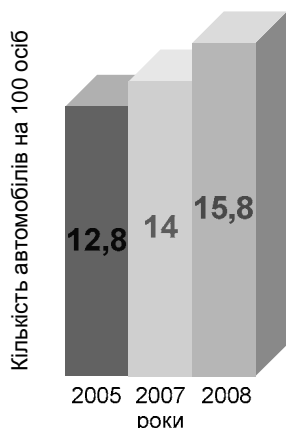


Рис. 1. Кількість автомобілів у країні на 100 ос. [1, 2]

Майбутнє зростання кількості електромобілів не вирішить проблеми зашумленості великих міст України, оскільки у легкових автомобілів за швидкості руху більше за 30–40 км/год переважає шум від ударяння автомобільних шин по поверхні дороги [5], а не від двигуна. Забезпечення утримання рівня шуму в межах допустимих норм найкраще передбачити на стадії проектування житлових масивів. Зменшення прогнозованого рівня шуму можна досягти, збільшуючи віддал житлових будівель від джерела шуму або будуючи нежитлові будівлі, такі як гаражі, котельні тощо між житловими будівлями і джерелом шуму. Коли територія є забудованою і потрібно зменшити рівень шуму, то найдешевшим способом є застосування шумозахисних бар'єрів. Для визначення потрібної висоти шумозахисного бар'єра проектувальники користуються низкою методів, а саме: Маєкави [6,7], Редферна [6], Реттінгера [8], VDI 2720 [9] та ін. Відповідно постає запитання – яким методом користуватися під час проектування шумозахисних бар'єрів. Тому задача дослідження точності методів визначення ефективності шумозахисних бар'єрів сьогодні є актуальною. Автори розробили підсистему, яка дає змогу одночасно визначати ефективність екранування різними методами з метою порівняння отриманих результатів між собою та вибору найточнішого методу.

#### **Розроблення алгоритмів для підсистеми визначення ефективності екранування різними методами**

Для реалізації підсистеми порівняння методів визначення ефективності екранування було алгоритмізовано методи визначення ефективності екранування та побудовано алгоритм для порівняння цих методів (рис. 2).

Останні дають змогу відповідно до вибору користувача визначати залежність ефективності бар'єра від зміни відстані джерела шуму від бар'єра, відстані спостерігача від бар'єра, висоти джерела шуму, висоти спостерігача, а також частоти звуку. Запропонований алгоритм подано на рис. 2, де параметр "wub" (який залежно від вибору користувача може набувати значення:  $l_z$ ,  $l_o$ ,  $h_z$ ,  $h_o$ ,  $h_e$ ,  $f_{Hz}$ ), а також параметри  $p$ ,  $x$  та  $k$ , які відповідно означають: від якого значення, з яким кроком  $i$  до якого значення змінюватиметься вибраний параметр, де  $l_z$  – залежність ефективності бар'єра від віддаленості джерела шуму від бар'єра;  $l_o$  – залежність ефективності бар'єра від віддаленості спостерігача від бар'єра;  $h_z$  – залежність ефективності бар'єра від висоти, на якій розміщене джерело шуму;  $h_o$  – залежність ефективності бар'єра від висоти, на якій розміщений спостерігач;  $h_e$  – залежність ефективності бар'єра від висоти бар'єра;  $f_{Hz}$  – залежність ефективності бар'єра від частоти звуку.

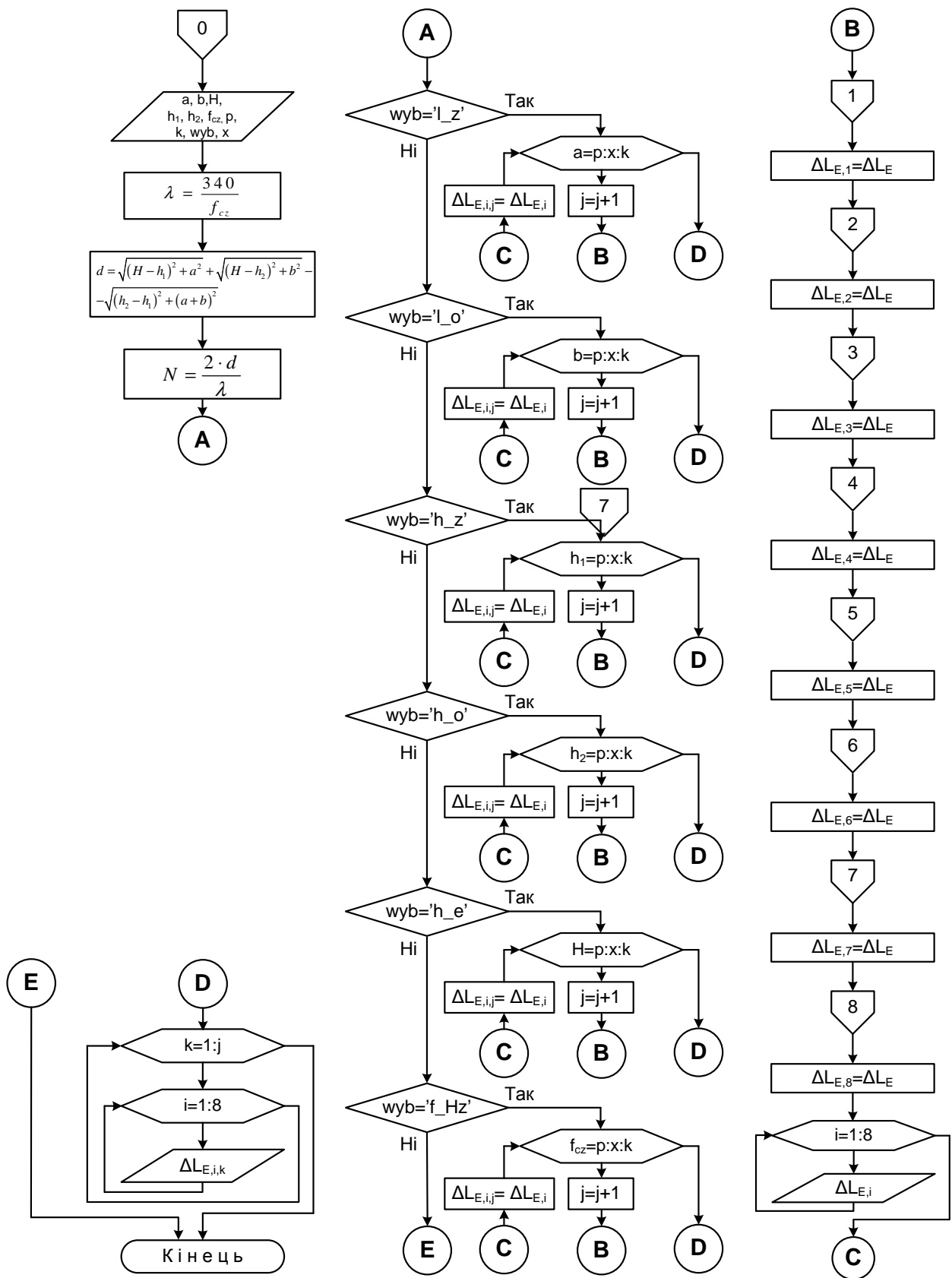


Рис. 2. Алгоритм порівняння методів визначення ефективності екранування

### Вибір програмного середовища для розроблення програмного продукту

Сьогодні існує багато програмних середовищ, які дають змогу швидко і зручно виконати математичні обчислення, а саме: Mathematica, MatLab [10], MathCad тощо. З переліку цих систем вибрано MatLab, тому що ця система здійснює обчислення з подвійною точністю [11], має багато вбудованих функцій і модулів, надаючи можливість ефективно досягти поставленої в роботі мети. Розробляти інтуїтивний графічний інтерфейс у системі MatLab просто і не вимагає від користувача особливих навичок і вмій.

### Підсистема порівняння методів визначення ефективності екранування

З метою спрощення порівняння різних методів і простоти використання користувачами підсистеми система джерело – бар’єр – спостерігач була зредукована з різних методів в одну схему для всіх методів, як показано на рис. 3. Потрібні кути до деяких методів визначаються розробленою підсистемою з тригонометричних залежностей. Після редукції геометрії до загальної схеми уможливилось створення однієї форми вікна для введення вхідних даних для всіх методів, що полегшує використання підсистеми користувачами і дало змогу значно зменшити код програми.

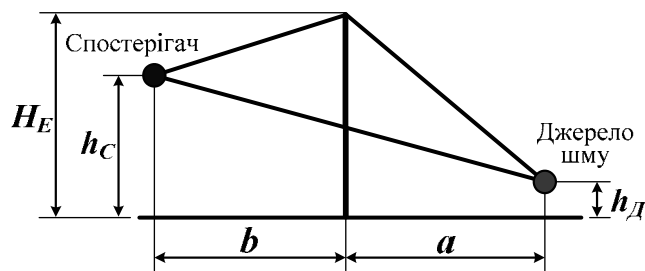


Рис. 3. Схема розміщення елементів системи “Джерело шуму–бар’єр–спостерігач”

У деяких методах ефективність екранування визначається з даних, наведених у вигляді графіків. Цю проблему було вирішено зчитуванням координат точок у двовимірний масив з певним кроком даних з графіків, а пізніше за допомогою функцій MatLab, а саме polyfit і polyval, визначається рівняння кривої точок, записаних у масиві.

Для контролю отриманих результатів і недопущення можливості отримання хибних результатів підсистема здійснює перевірку на виконання умови (1). Тобто для випадків, у яких пряма, яка з’єднує джерело шуму і спостерігача у точці перетину з площиною бар’єра, є вищою від самого бар’єра, як показано на рис. 4, б, розроблена підсистема не визначає ефективності бар’єра, а присвоює значення ефективності, яке дорівнює нулю. Це, своєю чергою, означає, що умова (1) не виконується.

$$\frac{(h_C - h_D) \cdot (a + b)}{a} < H_E \quad (1)$$

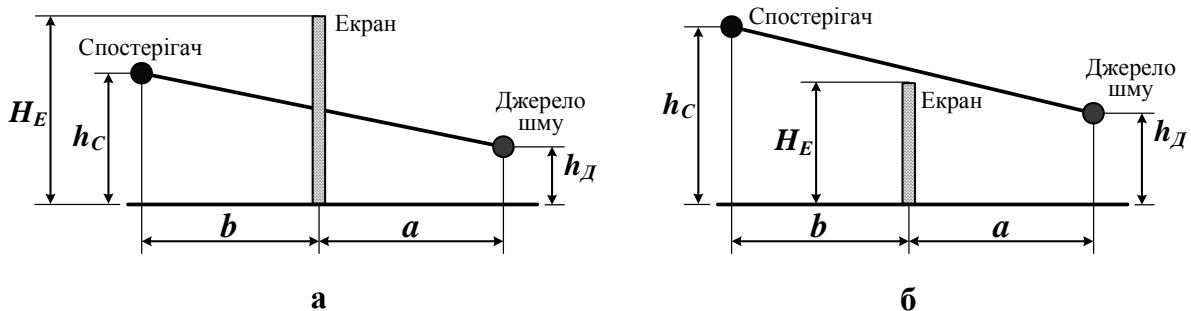


Рис. 4. Схема розміщення елементів системи “джерело шуму–бар’єр–спостерігач”: а – правильно запроєктований бар’єр; б – неправильно запроєктований бар’єр

Одним із завдань цієї роботи було порівняння різних методів визначення ефективності шумозахисних бар'єрів. Для цього розроблено підсистему, яка у вигляді таблиці подає отримані результати різними методами (рис. 5), що дає змогу легко порівняти ці результати між собою.

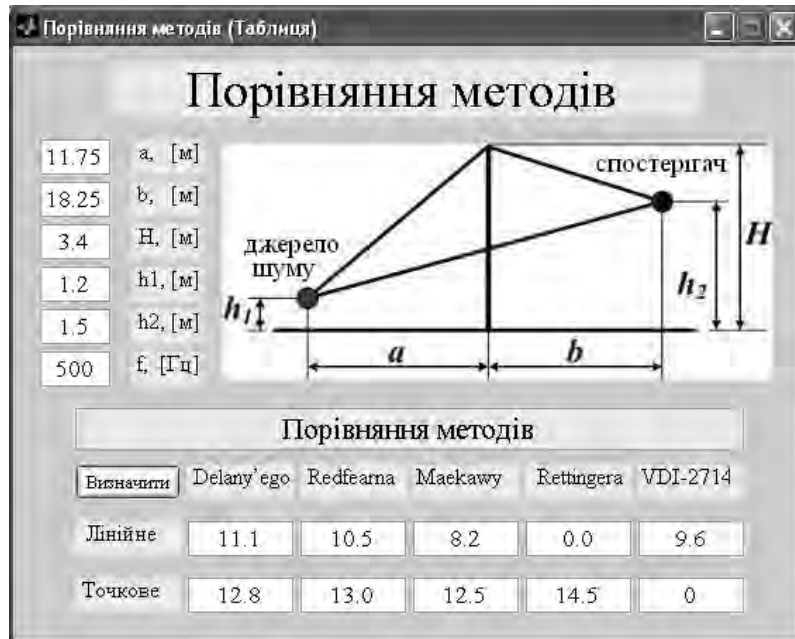


Рис. 5. Вікно визначення ефективності шумозахисних бар'єрів різними методами

На рис. 6 зображено вікно підсистеми визначення ефективності екранування залежно від зміни таких параметрів: відстані джерела шуму від бар'єра, відстані спостерігача від бар'єра, висоти джерела шуму, висоти спостерігача, а також частоти.

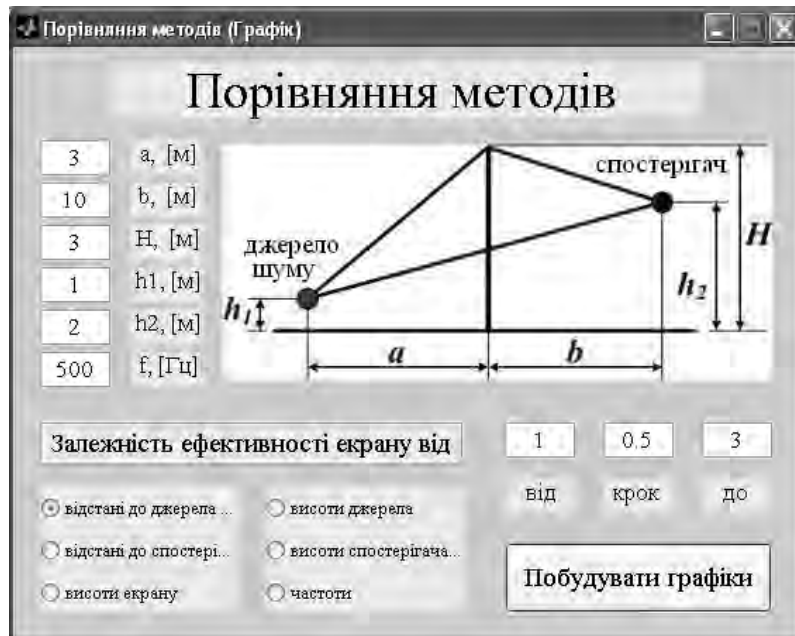


Рис. 6. Вікно визначення ефективності шумозахисних бар'єрів різними методами залежно від зміни одного з параметрів

На рис. 7–11 відображено ефективність екранування залежно від вищеперерахованих параметрів. Ця підсистема дає змогу побачити, які параметри найбільше впливають на ефективність екранування.

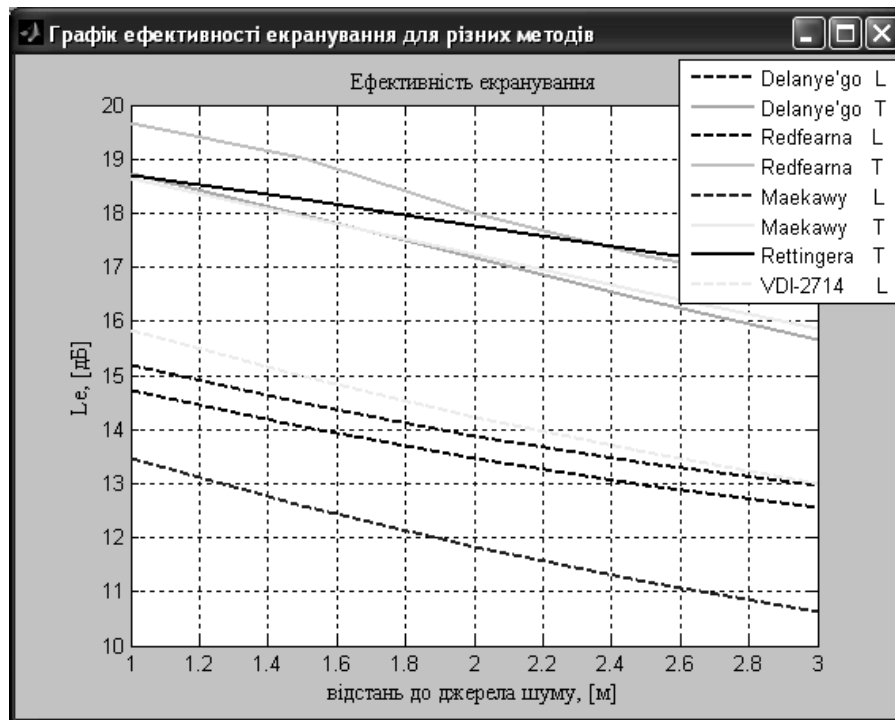


Рис. 7. Графік залежності ефективності шумозахисних бар'єрів від відстані до джерела шуму

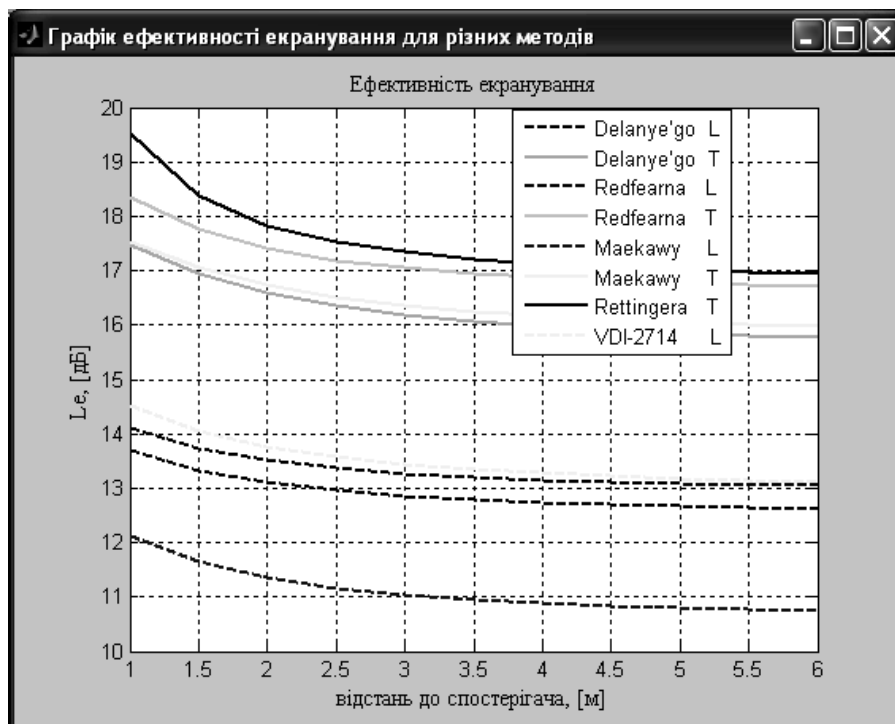


Рис. 8. Графік залежності ефективності шумозахисних бар'єрів від відстані до точки спостереження

Аналізуючи отримані результати у формі графіків, можемо зробити висновки, що всі параметри більше чи менше впливають на ефективність екранування. Проте, як показано на рис. 9, найважливішим параметром, який найбільше впливає на ефективність екранування, є висота шумозахисного бар'єра. Велике значення також має частота, яка домінує у спектрі шуму. Якщо домінують високі частоти, то ефективність екранування буде більшою, але якщо домінують низькі частоти, то ефективність швидко спадає, що показано на рис. 12.

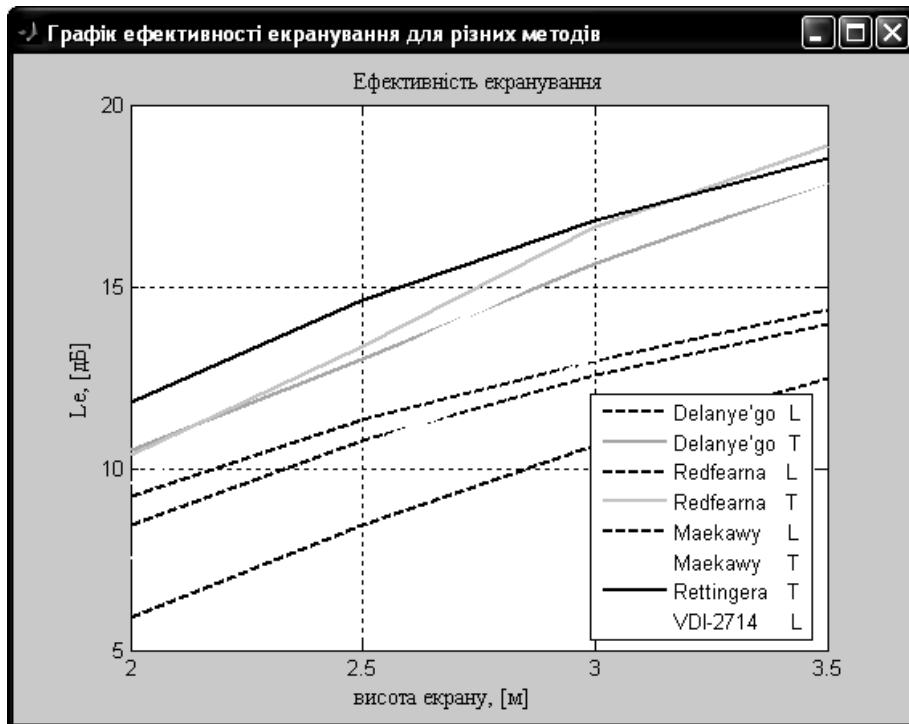


Рис. 9. Графік залежності ефективності шумозахисних бар'єрів від висоти бар'єра

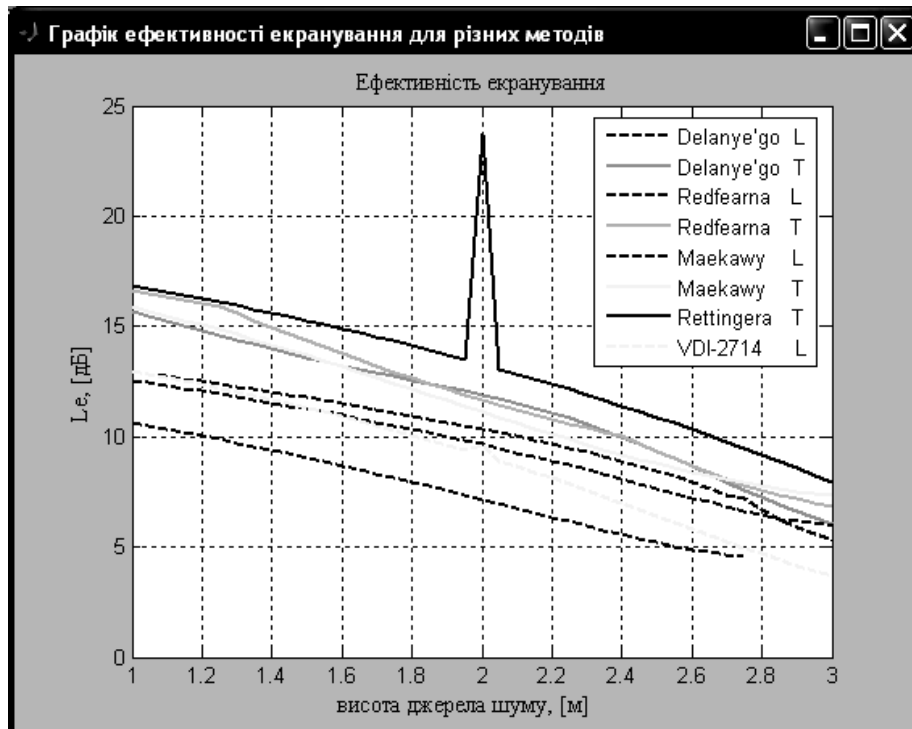


Рис. 10. Графік залежності ефективності шумозахисних бар'єрів від висоти джерела шуму

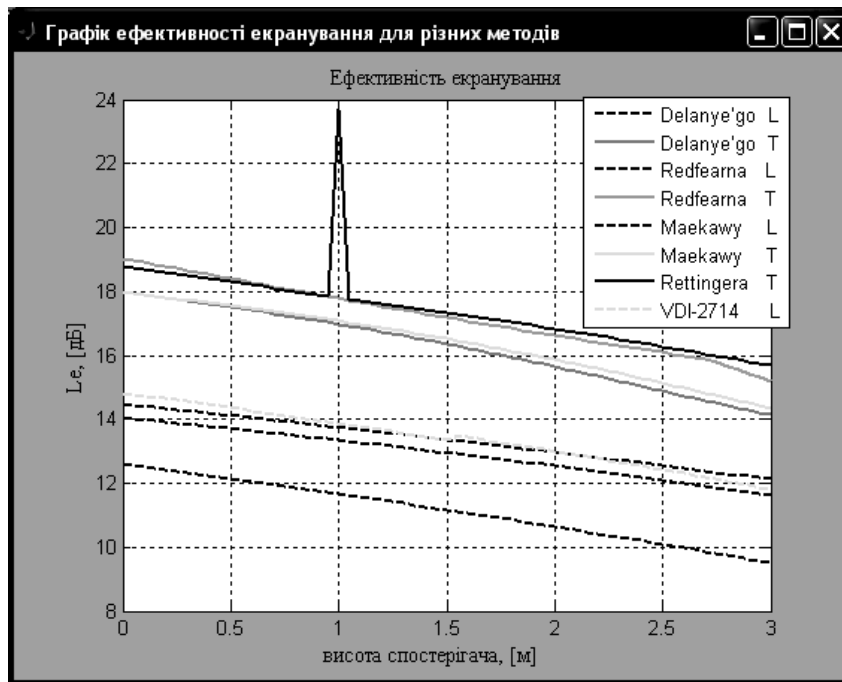


Рис. 11. Графік залежності ефективності шумозахисних бар'єрів від висоти точки спостереження

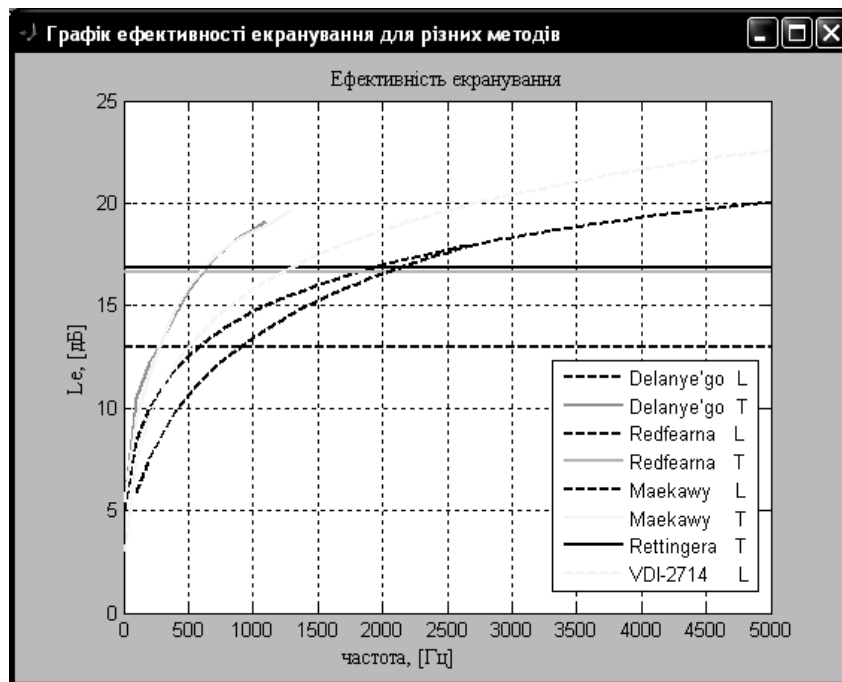


Рис. 12. Графік залежності ефективності шумозахисних бар'єрів від частоти

### Дослідження точності методів визначення ефективності шумозахисних бар'єрів

У роботі [12] виконано експериментальну оцінку ефективності вибраних конструкцій акустичних бар'єрів. Наприклад, у табл. 1 подано результати експериментальних досліджень шумозахисних бар'єрів і геометричні параметри системи “джерело шуму – бар'єр – спостерігач”.

Підставляючи розміри системи “джерело шуму – бар'єр – спостерігач” у розроблену підсистему (рис. 5), ми отримаємо ефективність екранування різними методами. Одержані результати для методу Редферна подано у табл. 2. Експериментальні ефективності, визначені з рівнів звукового тиску з використанням фільтра А, наведені у стовпчику № 2. Цей метод визначає ефективність екранування від лінійного джерела шуму, скориговану частотною характеристикою А, яка відповідає характеристиці людського вуха.



Таблиця 1

## Ефективність бар'єрів та розміри системи “Джерело шуму – бар'єр – спостерігач” [12]

Номер бар'єра	a, м	b, м	hE, м	hД, м	hC, м	DIL, дБА
E_02_3п	11,75	19,25	3,40	0,50	9,00	2,7
E_02_1,5	11,75	18,25	3,40	0,50	1,50	6,9
E_03_1,5	11,75	5,50	3,40	0,50	1,50	12,6
E_04_4п	11,45	6,20	3,40	0,50	12,00	5,9
E_04_1,5	11,45	5,20	3,40	0,50	1,50	15,7
E_06_2п	14,75	42,30	3,40	0,50	5,50	9,8
E_06_1,5	14,75	41,30	3,40	0,50	1,50	11,4
E_07_3п	11,95	8,55	3,40	0,50	9,00	2,4
E_07_1,5	11,95	7,55	3,40	0,50	1,50	12,4
E_09_6п	15,25	40,25	3,40	0,50	19,50	0,8
E_09_1,5	15,25	39,25	3,40	0,50	1,50	10,1
E_10_2п	14,80	21,50	3,40	0,50	5,50	4,8
E_10_1,5	14,80	20,50	3,40	0,50	1,50	6,6
E_11_2п	17,00	40,20	3,40	0,50	5,50	11,8
E_11_1,5	17,00	40,20	3,40	0,50	1,50	13,8
E_12_5п	12,10	94,90	3,40	0,50	12,50	9,7
E_12_1,5	12,10	93,90	3,40	0,50	1,50	11,6

Таблиця 2

## Ефективності шумозахисних бар'єрів, визначені методом Редферна

Бар'єр	Експериментальні дані		Редферна [6]	
	D <sub>IL</sub> , дБ(А)	D <sub>IL</sub> , дБ(А)	D <sub>IL</sub> , дБ(А)	Абсолютна похибка, дБ
1	2	5	6	
E_02_3п	2,7	-	-	
E_02_1,5	6,9	11,53	4,63	
E_03_1,5	12,6	12,67	0,07	
E_04_4п	5,9	-	-	
E_04_1,5	15,7	12,78	2,92	
E_06_2п	9,8	8,31	1,49	
E_06_1,5	11,4	10,67	0,73	
E_07_3п	2,4	-	-	
E_07_1,5	12,4	12,24	0,16	
E_09_6п	0,8	-	-	
E_09_1,5	10,1	10,61	0,51	
E_10_2п	4,8	6,68	1,88	
E_10_1,5	6,6	10,97	4,37	
E_11_2п	11,8	7,67	4,13	
E_11_1,5	13,8	10,36	3,44	
E_12_5п	9,7	8,16	0,54	
E_12_1,5	11,6	10,99	0,61	

У табл. 3 подано ефективності шумозахисних бар'єрів від лінійного джерела шуму, визначені за допомогою розробленої підсистеми для різних параметрів розміщення системи “джерело шуму – бар'єр – спостерігач”. У табл. 3 експериментальні ефективності відрізняються від тих, що містяться у табл. 2, тому що вони знайдені з рівнів звукового тиску, для визначення яких не використовувався фільтр А чи інші. Прочерки у таблицях означають, що для цього бар'єра не виконується умова (1).

Аналізуючи вибрані методи, можна стверджувати, що їхнім недоліком є те, що вони не враховують довжини бар'єра, а тільки його висоту і взаємне розміщення джерела шуму, бар'єра і спостерігача, що виражається через число Френеля. Порівнюючи результати визначення ефективності шумозахисних бар'єрів різними методами і даними, отриманими експериментально, бачимо, що для лінійного джерела шуму, яким є дорога, найменшу розбіжність між розрахованими та експериментальними даними дає метод Маєкави.

## Ефективність шумозахисних бар'єрів, визначена методами Деланго, Маєкави і VDI 2714

Бар'єр	Експ. д.	Метод					
	D <sub>п</sub> , дБ	Деланго [7]		Маєкави [6]		VDI 2714 [9]	
		D <sub>п</sub> , дБ	Абсолютна похибка, дБ	D <sub>п</sub> , дБ	Абсолютна похибка, дБ	D <sub>п</sub> , дБ	Абсолютна похибка, дБ
1	2	3	4	5	6	7	8
E_02_2 p	8,0	-	-	-	-	-	-
E_02_1,5	9,4	12,0	2,6	9,4	0,0	11,0	1,6
E_03_1,5	8,3	13,1	4,8	10,8	2,5	12,9	4,6
E_04_3 p	8,0	-	-	-	-	-	-
E_04_1,5	10,4	13,2	2,8	10,9	0,5	13,1	2,7
E_06_1 p	5,6	9,1	3,5	5,8	0,2	6,7	1,1
E_06_1,5	7,8	11,3	3,5	8,3	0,5	9,1	1,3
E_07_2 p	7,4	-	-	-	-	-	-
E_07_1,5	9,8	12,7	2,9	10,3	0,5	12,3	2,5
E_09_5 p	0,7	-	-	-	-	-	-
E_09_1,5	6,1	11,2	5,1	8,3	2,2	9,0	2,9
E_10_1 p	6,3	7,1	0,8	4,6	1,7	4,9	1,4
E_10_1,5	4,2	11,5	7,3	8,7	4,5	10,1	5,9
E_11_1 p	9,0	8,5	0,6	5,2	3,8	5,9	3,1
E_11_1,5	10,0	11,0	1,0	8,0	2,0	8,5	1,5
E_12_4 p	13,2	9,0	4,2	5,6	7,6	6,1	7,1
E_12_1,5	11,7	11,5	0,2	8,7	3,0	8,5	3,2

## Висновки

Проаналізувавши отримані результати, бачимо, що всі методи дають різну точність вихідних результатів. Вирішенням цієї проблеми може бути вдосконалення методу Маєкави з урахуванням складу транспортних потоків та їхньої швидкості. Більше того, під час аналізу методів, встановлено, що найбільші помилки між аналітичними методами і даними, отриманими експериментально, можуть виникати, коли у бар'єрі є перерви у вигляді заїздів або у випадку, коли недостатня довжина шумозахисних бар'єрів, оскільки аналізовані методи передбачають, що шумозахисний бар'єр є нескінченно довгим.

Розроблена підсистема визначає ефективності шумозахисних бар'єрів методами Маєкави, Реттінгера, Редферна, Деланго і VDI-2720. Підсистема дає змогу будувати графіки зміни ефективності від зміни одного з параметрів, а саме: відстані джерела шуму від бар'єра, відстані спостерігача від бар'єра, висоти джерела шуму, висоти спостерігача і частоти.

1. *Motor vehicles (per 1,000 people)* [Електронний ресурс]. – Режим доступу. [data.worldbank.org/indicator/IS.VEH.NVEH.P3/countries/latest?display=default](http://data.worldbank.org/indicator/IS.VEH.NVEH.P3/countries/latest?display=default). 2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу. [russianamericanbusiness.org/web\\_CURRENT/articles/461/1/Car-market-update-for-Ukraine](http://russianamericanbusiness.org/web_CURRENT/articles/461/1/Car-market-update-for-Ukraine). 3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу. [narodna-vlada.org.ua/news/787](http://narodna-vlada.org.ua/news/787). 4. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92\*\*. – К.: Держбуд України, 2002. – 110 с. – (Державні будівельні норми України). 5. Erik de Graaff HARMONOISE -IMAGINE road source model // A short overview for GRB September 2008 // Informal document No. GRB-48-6 (48th GRB, 1-3 September 2008, agenda item 7). 6. *Prévision des niveaux sonores — Guide du Bruit des Transports Terrestres*. – Nov. 1980. 7. Engel Z. *Ekrany akustyczne* / Engel Z., Sadowski J. i inni — Kraków: Wydawnictwo AGH, 1990. 8. Kucharski R. *Hałas drogowy* / Kucharski R. — Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1979. 9. VDI-2720 – *Schallschutz durch Abschirmung im Freien. VDI-Richtlinien, Juni 1981*. 10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу. <http://www.mathworks.com>. 11. Кривилев А. В. *Основы компьютерной математики с использованием системы MATLAB* / А. В. Кривилев. – М.: Лекс-Книга, 2005. – 496 с. 12. Мельник М. *Експериментальне дослідження впливу геометричних параметрів та акустичних властивостей екранів на їх ефективність* / М. Мельник, В. Цісельська // *Комп'ютерні технології друкарства: збірник наук. праць УАД*. – Львів, 2009. – № 21. – С. 146–154.