

УДК 629.113/.115; 534.836.2; 534.286

DOI: 10.33868/0365-8392-2026-1-286-71-79

© В. В. Федоров, канд. техн. наук, доцент,  
 ORCID:0000-0002-1085-5112,  
 e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;  
 © Г. А. Філіпова, канд. техн. наук, професор,  
 ORCID: 0000-0003-3427-7633,  
 e-mail: galina\_gaj@ukr.net;  
 © В. В. Яновський, канд. техн. наук, доцент,  
 ORCID: 0000-0001-9437-4537,  
 e-mail: yanovskyi\_v@ukr.net  
 (Національний транспортний університет)

© Volodymyr Fedorov, PhD, Associate Professor,  
 ORCID:0000-0002-1085-5112,  
 e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;  
 © Galyna Filipova, PhD, Professor,  
 ORCID:0000-0003-3427-7633,  
 e-mail: galina\_gaj@ukr.net;  
 © Vasyl Yanovsky, PhD, Associate Professor,  
 ORCID: 0000-0001-9437-4537,  
 e-mail: yanovskyi\_v@ukr.net  
 (National Transport University)

## ПОКРИТТЯ КОРПУСУ БРОНЕАВТОМОБІЛЯ КРАЗ «ФІОНА» КОМПЛЕКСНОЮ РЕЗОНАТОРНОЮ ПЛИТОЮ ЯК ЗАСІБ ЗМЕНШЕННЯ ЙОГО РІВНЯ ЗОВНІШНЬОГО ШУМУ

### COATING THE BODY OF THE KRAZ 'FIONA' ARMORED CAR WITH A COMPLEX RESONATOR PLATE AS A MEANS OF REDUCING ITS EXTERNAL NOISE LEVEL

**Анотація.** Сьогодні, з одного боку, спостерігається незадовільна ситуація в сфері акустичної безпеки населення, що негативно позначається на фінансово-економічній діяльності промисловості України. З іншого боку, враховуючи воєнний стан у країні, шум також виступає шкідливим демаскувальним фактором для військової техніки. Ці обставини підкреслюють актуальність проблеми зниження шуму військових автотранспортних засобів. Одним із найбільш потужних джерел шуму в таких транспортних засобах є двигун, який створює загальний шум. Він має такі складові: шум, що випромінює поверхня двигуна; структурний шум, що випромінюється кузовом автомобіля і джерелом якого є вібрація, що створюється двигуном; шум системи впуску; шум системи випуску; шум насосної установки і деякі інші. Своєю увагою ми хочемо зупинити саме на структурному шумі, який виникає через створювану двигуном вібрацію. Розроблена так звана комплексна резонаторна плита, яка має кріпитись на поверхню корпусу броневих автомобілів. У цій роботі пропонується як об'єкт дослідження броневий автомобіль КРАЗ «Фіона». Комплексна резонаторна плита складається з декількох різних за геометричними розмірами, а отже, і частотами резонансу одиночних резонаторних глушників. Всі одиночні резонаторні глушники виконані у вигляді паралелепіпедів, причому для зручності їхні горловини розміщені не назовні, як у класичних резонаторних глушників, а всередині. Крім того, з метою пониження резонансної частоти одиночних резонаторних глушників запропоновано збільшити довжину горловин, виконавши останні у вигляді коаксіальних патрубків. Для збільшення звукопоглинальних властивостей комплексної резонаторної плити в областях частот, що не відповідають резонансним частотам одиночних резонаторних глушників, запропоновано покривати внутрішні стінки останніх склою як матеріалом, що має високі звукопоглинальні властивості. У роботі виконано розрахунок одиночних резонаторних глушників для різних габаритних розмірів та довжин горловин. Надамо частотні характеристики одиночних резонаторних глушників та запропоновано вид скла для покриття внутрішніх поверхонь останніх. Сформульовано прогноз ефективності розробленої комплексної резонаторної плити.

**Ключові слова:** броневий автомобіль, КРАЗ «Фіона», рівень зовнішнього шуму, демаскувальний фактор, резонаторні глушники, частота резонансу, комплексна резонаторна плита, акустична ефективність, коефіцієнт звукопоглинання, магістральний цикл.

**Abstract.** Today, on the one hand, there is an unsatisfactory situation in the field of acoustic safety of the population, which negatively affects the financial and economic activity of the Ukrainian industry. On the other hand, given the state of war in the country, noise also acts as a harmful unmasking factor for military equipment. These circumstances emphasize the relevance of the problem of reducing the noise of military vehicles. One of the most powerful sources of noise in such vehicles is the engine, which creates general noise. This noise has components: noise emitted by the engine surface; structural noise emitted by the car body and the source of which is vibration created by the engine; noise of the intake system; noise of the exhaust system; noise of the pumping unit and some others. We want to focus our attention on the structural noise that arises due to vibration created by the engine. The so-called complex resonator plate has been developed, which should be attached to the surface of the armored vehicle body. In this work, the KRAZ "Fiona" armored vehicle is proposed as the object of research. The complex resonator plate con-

sists of several single resonator mufflers of different geometric dimensions, and therefore resonance frequencies. All single resonator mufflers are made in the form of parallelepipeds, and for convenience their necks are not outside, as in classical resonator mufflers, but inside. In addition, in order to reduce the resonant frequency of single resonator mufflers, it is proposed to increase the length of the necks, making the latter in the form of coaxial pipes. To increase the sound-absorbing properties of the complex resonator plate in frequency ranges that do not correspond to the resonant frequencies of single resonator mufflers, it is proposed to cover the inner walls of the latter with glass as a material with high sound-absorbing properties. The work calculates single resonator mufflers for different overall dimensions and neck lengths. The frequency characteristics of single resonator mufflers and the proposed type of glass for covering the internal surfaces of the latter are provided. The efficiency of the developed complex resonator plate is predicted.

**Keywords:** armored vehicle, KrAZ "Fiona", external noise level, unmasking factor, resonator mufflers, resonance frequency, complex resonator plate, acoustic efficiency, sound absorption coefficient, main cycle.

### Вступ

Оскільки боротися із шумом та вібрацією безпосередньо двигуна – це вкрай складне завдання, нами було прийнято рішення зменшити наслідок такої дії двигуна, тобто зменшити шум, що випромінюється корпусом броневих автомобіля. Це особливо актуально для таких машин, що мають велику площу корпусу, яка, до того ж, не є дуже складною, має мало перело-

мів. Обом цим умовам відповідає корпус броньованої бойової колісної машини (ББКМ) КраЗ «Фіона» (далі – броневих автомобіль КраЗ «Фіона»).

### Тактико-технічні характеристики броневих автомобіля КраЗ «Фіона»

Тактико-технічні характеристики броневих автомобіля КраЗ «Фіона» (рис. 1) наведені в табл. 1 [1].



**Рис. 1.** Броневих автомобіль КраЗ «Фіона» [1]

Тактико-технічні характеристики бронев автомобіля КрАЗ «Фіона» [1]

Довжина, ширина, висота, м	7,80 / 2,67 / 3,08
Повна маса, кг	21 500
Бойова маса, кг	18 000
Шасі	КрАЗ 6322
Рівень шуму, дБА	80
Колісна формула	6×6
Силова установка	дизель з турбонаддувом
Потужність двигуна, кВт (к.с.) при 1900 хв <sup>-1</sup>	280 (380)
Підвіска	компоненти підвіски посилені, щоб компенсувати додаткову масу транспортного засобу
Екіпаж, осіб	2 + 10 (2 + 14)
Максимальна швидкість по шосе, км/год	100
Запас ходу, км	600
Захист (бронювання)  балістичний протимінний	від бронебійних куль і від вибуху 8 кг тротилу STANAG 4569 Level 2 STANAG 4569 Level 2a, 2b
Озброєння	7,62-мм кулемет або 12,7-мм кулемет

Бронев автомобіль КрАЗ «Фіона» виготовлений на ПрАТ «АвтоКрАЗ» у партнерстві з канадсько-еміратською компанією Streit Group. Бронев автомобіль підходить для виконання бойових завдань як у міських умовах, так і в умовах повного бездоріжжя. Автомобіль повністю броньований, він спроектований для захисту пасажирів від балістичних загроз під будь-яким кутом. Всі компоненти автомобіля модифіковані для підтримки маси броні. Колеса автомобіля оснащені системою «gun-flat». Салон автомобіля може змінюватися під різні вимоги замовника.

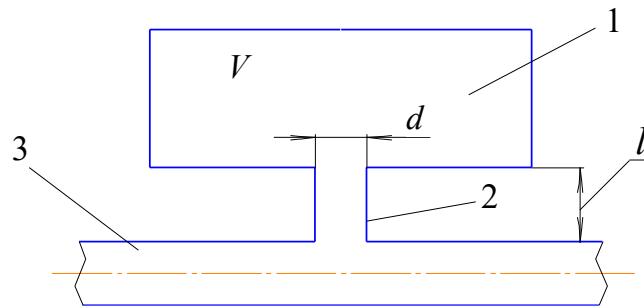
Бронев автомобіль КрАЗ «Фіона» створений на базі шасі автомобіля-всюдихода КрАЗ-6322 (6×6). Він може обладнуватися двигунами різної потужності від різних виробників. На розглядуваному зразку встановлений дизель потужністю

280 кВт, зчеплення MFZ-430 і коробка передач Fast Gear. Автомобіль має гідравлічний привід задніх дверей, обладнаний пошуковими фарами, електричною лебідкою, камерою заднього виду, поворотною туреллю з місцем для кріплення зброї, гаком для буксирування.

#### Короткі теоретичні відомості

Передусім нагадаємо про принцип дії та будову резонаторних глушників, знання про які необхідні будуть у подальшому.

Резонаторні глушники (рис. 2) – це газові порожнини, сполучені з трубопроводом за допомогою отвору [2]. Ці глушники можуть бути конструктивно оформлені у вигляді одиничного або групи резонаторів. Вони застосовуються для придушення дискретних складових шуму.



**Рис. 2.** Резонаторний глушник шуму:

- 1 – резонаторна камера об’ємом  $V$ ; 2 – горловина довжиною  $l$  та діаметром  $d$ ;  
3 – трубопровід

Глушник резонаторного типу є елементарною коливальною системою із затуханням, яка у стані збудження звуковою хвилею, що падає на неї, відбирає від останньої акустичну енергію на частотах, близьких до власної частоти резонатора. Максимальне поглинання енергії для одиночного резонатора буде спостерігатися на резонансній частоті  $f_p$  [2]:

$$f_p = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{lV}} \quad (1)$$

де  $c$  – швидкість звуку в середовищі;  
 $S = \frac{\pi d^2}{4}$  – площа перерізу горловини резонатора;  $l$  – довжина горловини резонатора;  $V$  – об’єм резонаторної камери

Глушники цього типу характеризуються поглинанням звукової енергії у вузькому діапазоні частот.

### Розроблена комплексна резонаторна плита

Для зменшення рівня шуму, що випромінюється безпосередньо корпусом бронеавтомобіля КраЗ «Фіона», нами було розроблене спеціальне покриття [3], якому з огляду на його конструктивні особливості дана назва «комплексна резонаторна плита» (рис. 3).

Принцип роботи комплексної резонаторної плити полягає у поглинанні звукової енергії двома способами: набором

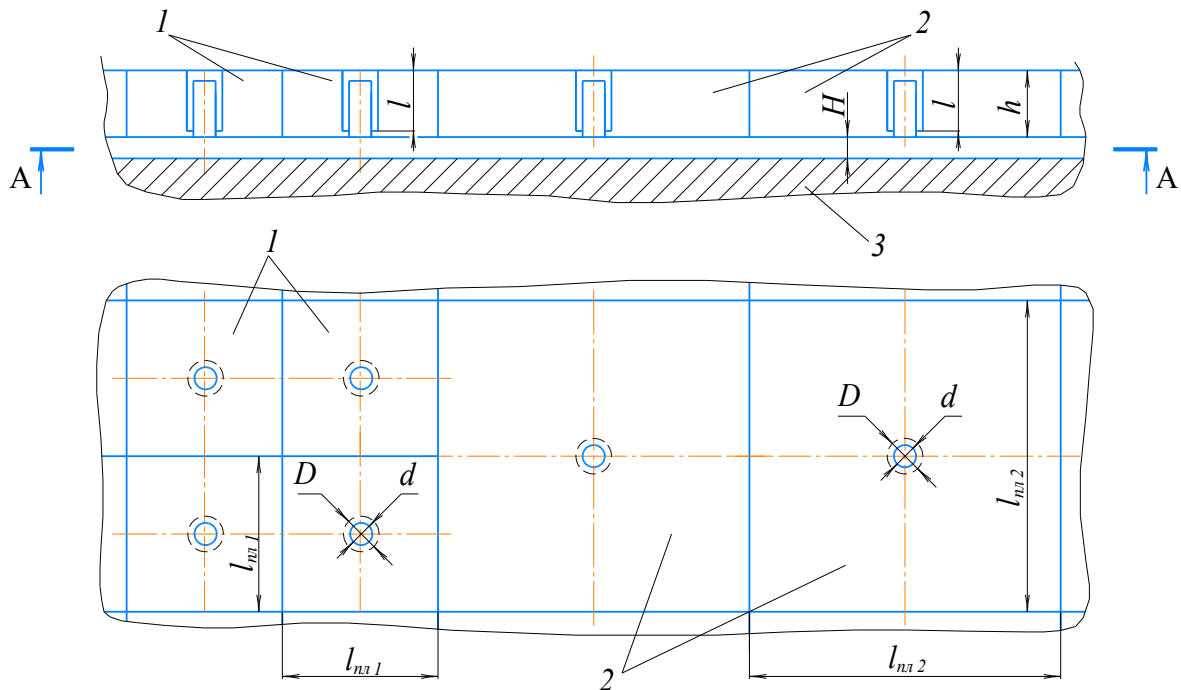
резонаторних глушників та безпосередньо самим матеріалом, з якого виготовлена ця плита.

Резонаторні глушники для зручності їхнього застосування виготовлені у формі прямокутних паралелепіпедів із квадратами в основі. У резонаторній плиті можуть бути глушники різних розмірів, і саме тому вона названа комплексною. У нашій роботі було використано два різні резонаторні глушники: зі сторонами основи 70 мм та 140 мм.

Резонаторний глушник 1 (меншого розміру, зі стороною  $l_{nl1}$ ) має частоту резонансу  $f_{p1}$ , резонаторний глушник 2 (більшого розміру, зі стороною  $l_{nl2}$ ) має частоту резонансу  $f_{p2}$ . Висота порожнини глушників (товщина комплексної резонаторної плити) становить  $h$ . Плита закріплена на корпусі бронеавтомобіля, причому між корпусом і плитою є відстань  $H$ .

З метою зниження резонансної частоти глушників нами запропоновано застосування горловин у вигляді двох коаксіальних патрубків кожна. Внутрішні діаметри першого  $d$  та другого  $D$  патрубків (див. рис. 3) та товщина їхніх стінок підібрані так, щоб площа кільця, утвореного у перерізі між зовнішньою поверхнею першого та внутрішньою поверхнею другого патрубків, дорівнювала площі поперечного перерізу першого патрубка. Так утвориться квазігорловина з площею попере-

чного перерізу, що дорівнюватиме площі та довжиною, яка дорівнюватиме сумі до-  
поперечного перерізу першого патрубку, вжин патрубків.



**Рис. 3.** Схема комплексної резонаторної плити:

1 – резонаторний глушник із частотою резонансу  $f_{p1}$ ; 2 – резонаторний глушник із частотою резонансу  $f_{p2}$ ; 3 – корпус бронеавтомобіля;  $l$  – висота патрубків горловини першого та другого резонаторних глушників;  $h$  – висота порожнини глушників;  $H$  – відстань між корпусом бронеавтомобіля та резонаторною плитою;  $d$ ,  $D$  – внутрішні діаметри відповідно перших і других патрубків горловин глушників

### Розрахунок акустичної ефективності резонаторної плити

Акустичний розрахунок розробленої комплексної резонаторної плити буде складатися з розрахунку частотозалежної ефективності резонаторних глушників та аналізу матеріалу її внутрішнього покриття.

1. Розрахунок резонансної частоти резонаторного глушника зі стороною 70 мм.

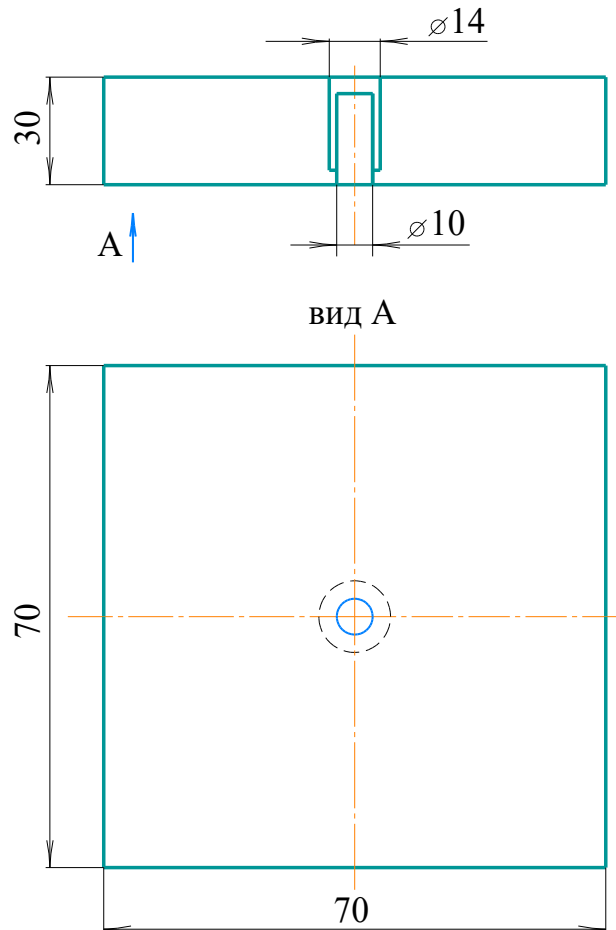
Розрахуємо акустичну ефективність резонаторного глушника зі стороною 70 мм (рис. 4).

Для розрахунку резонансної частоти цього глушника необхідно знайти: довжину горловини резонатора  $l_{горл}$ ; площу поперечного перерізу горловини резонатора  $S_{горл}$ ; об'єм резонаторної камери  $V_{70}$ .

Для спрощення приймаємо, що  $l \approx h$ .

Довжина горловини  $l_{горл}$  з двох коаксіальних патрубків вираховується як

$$l_{горл} = 2l = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$



**Рис. 4.** Схема резонаторного глушника зі стороною 70 мм

Площа поперечного перерізу горловини резонатора  $S_{горл}$  (рис. 4):

$$S_{горл} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 10^{-4}}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Об'єм резонаторної камери  $V_{70}$  знаходиться як різниця об'єму паралелепіпеда зі стороною основи 70 мм і горловини з коаксіальних патрубків із зовнішнім діаметром  $D_{зовн} = 14$  мм:

$$V_{70} = (S_{70} - S_{цил}) \cdot h,$$

де  $S_{70}$  – площа основи паралелепіпеда – квадрата зі стороною 70 мм;

$S_{цил}$  – площа основи циліндра діаметром 14 мм.

Тоді

$$\begin{aligned} V_{70} &= (S_{70} - S_{цил}) \cdot h = \left( l_{пл}^2 - \frac{\pi D_{зовн}^2}{4} \right) h = \\ &= \left( 0,07^2 - \frac{\pi 0,014^2}{4} \right) 3 \cdot 10^{-2} = 1,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \end{aligned}$$

За (1) маємо резонансну частоту :

$$f_{p1} = \frac{340}{2\pi} \sqrt{\frac{S_{горл}}{l_{горл} \cdot V_{70}}} = \frac{340}{2\pi} \sqrt{\frac{7,85 \cdot 10^{-5}}{6 \cdot 10^{-2} \times 1,42 \cdot 10^{-4}}} = 164 \text{ Гц}$$

Аналогічно знаходимо резонансну частоту резонаторного глушника зі стороною 140 мм. Опускаючи розрахунки, маємо  $f_{p2} = 81 \text{ Гц}$ .

2. Вимоги до фізичних та акустичних властивостей матеріалу внутрішнього покриття резонаторної плити.

Очевидно, що матеріал внутрішнього покриття резонаторної плити має відповідати таким вимогам: бути жаростійким,

міцним та мати високі звукопоглинальні та звукоізоляційні властивості. Всім вищевказаним вимогам відповідає віконне скло спеціальне. Його звукопоглинальні властивості наведені у **табл. 2** [2].

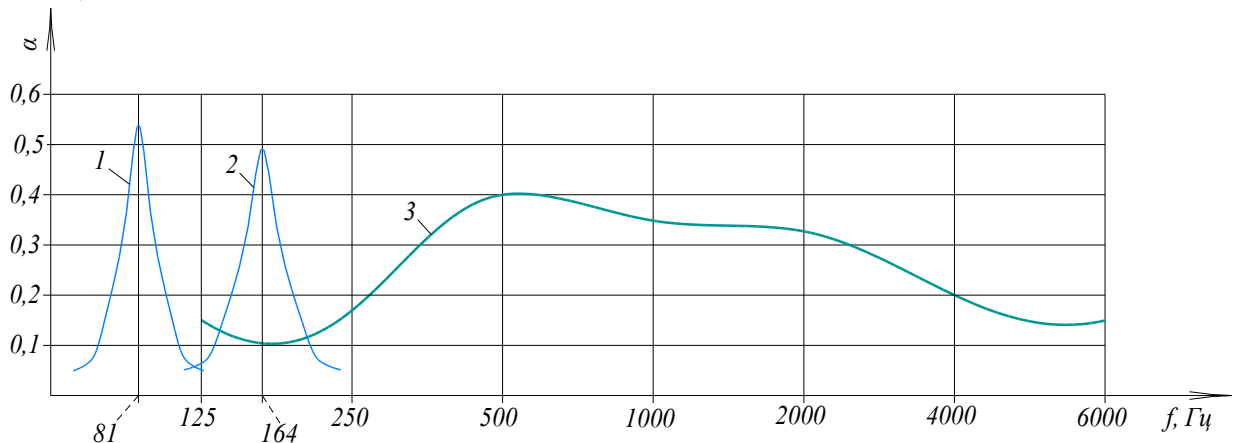
Таблиця 2

**Коефіцієнт звукопоглинання віконного скла спеціального**

Поглинач	КЗП залежно від частоти, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Віконне скло спеціальне	0,15	0,17	0,40	0,35	0,33	0,20	0,15

Враховуючи отримані дані щодо резонаторних глушників і звукопоглинальних властивостей скла віконного спеціального, маємо такі частотні залежності

(рис. 5): залежність коефіцієнта звукопоглинання [2] глушників №1 і №2 і скла спеціального від частоти.



**Рис. 5.** Частотні характеристики складових комплексної резонансної плити:

- 1 – частотна характеристика резонаторного глушника № 1;
- 2 – частотна характеристика резонаторного глушника № 2;
- 3 – частотна характеристика скла спеціального

На **рис. 6** наведено частотозалежну ефективність розробленої резонаторної плити в цілому.

На **рис. 7** показана залежність рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля КраЗ «Фіона» від швидкості руху (у магістральному циклі на дорозі) з наявним корпусом та з корпусом, що покритий розробленою комплексною резонаторною плитою.

## Висновки

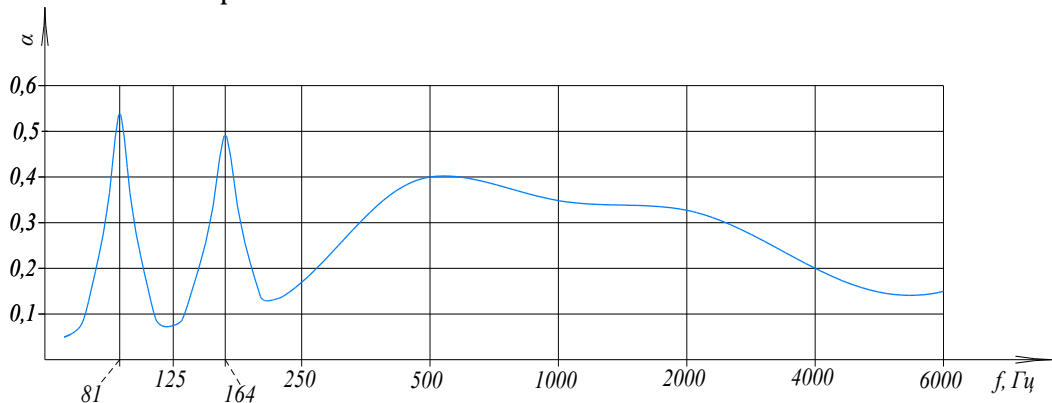
Для зменшення рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля КраЗ «Фіона», що необхідно для поліпшення маскувальних властивостей останнього, було розроблено комплексну резонаторну плиту для покриття корпусу цього бронеавтомобіля.

Принцип дії розробленої комплексної резонаторної плити базується на використанні у її конструкції набору резонаторів із різними частотними характеристиками. Також для поліпшення ефекту звукопоглинання запропоновано внутрі-

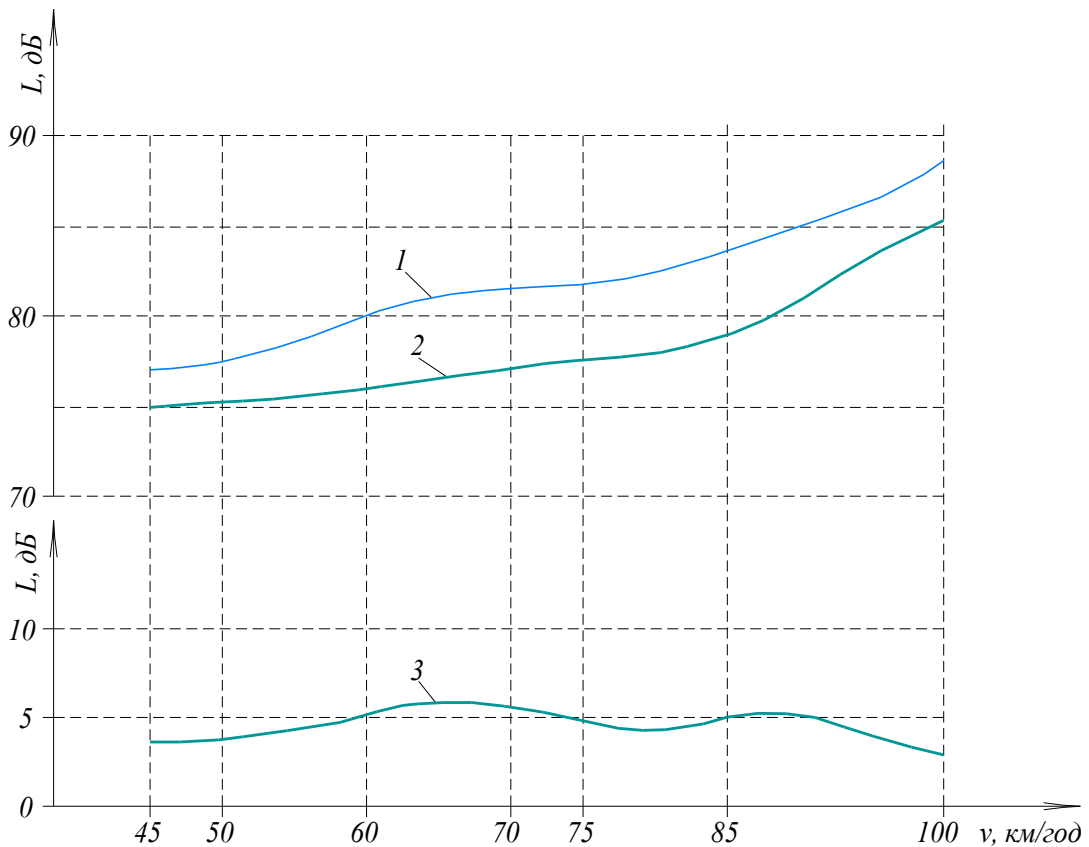
шні стінки покривати склом із високими звукопоглинальними властивостями.

Завдяки застосуванню розробленої комплексної резонаторної плити прогнозується зменшення рівня зовнішнього

шуму броневих автомобіля КрАЗ «Фіона» на 3–6 дБА у діапазоні швидкостей руху 45–100 км/год.



**Рис. 6.** Частотна характеристика комплексної резонаторної плити



**Рис. 7.** Залежність рівня зовнішнього шуму броневих автомобіля «Фіона» від швидкості руху (в магістральному циклі на дорозі):

1 – з наявним корпусом; 2 – з корпусом, що покритий розробленою комплексною резонаторною плитою;

3 – ефективність розробленої комплексної резонаторної плити

### References

1. Spetstechnoexport. (2026). KrAZ-Fiona. Tekhnichni kharakterystyky [KrAZ-Fiona. Technical specifications] Retrieved from <https://spetstechnoexport.com/uk/product/kraz-fiona>.

2. Fedorov V. V. (2008). Akustyka avtomobilya: Prynt [Car acoustics: Print]. Kyiv, 285. [in Ukrainian].

3. Fedorov, V. V., Filipova, G. A., Yanovsky, V. V. (2022). Rezonatorna plyta [Resonator plate]. Patent 151376, bulletin "Industrial Property", 28.

**ISSN 0365-8392**

**DOI: 10.33868/0365-8392-2026-1-286-71-79**

**Дата першого надходження статті: 01.03.2026**

**Дата прийняття до друку: 15.03.2026**

**Дата публікації: 31.03.2026**

