

УДК 629.113/.115; 534.836.2; 534.286; 621.43.065

DOI: 10.33868/0365-8392-2025-2-283-38-42

© В. В. Федоров, канд. техн. наук, доцент,
ORCID:0000-0002-1085-5112,

e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;

© О. А. Корпач, канд. техн. наук, доцент,

ORCID:0000-0002-2496-4395,

e-mail: korpach1988@gmail.com;

© Д. М. Ященко, канд. техн. наук, доцент,

ORCID:0000-0003-3674-0089,

e-mail: y_d@ukr.net

(Національний транспортний університет)

© Volodymyr Fedorov, PhD, Associate Professor,
ORCID:0000-0002-1085-5112,

e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;

© Oleksii Korpach, PhD, Associate Professor,

ORCID:0000-0002-2496-4395,

e-mail: korpach1988@gmail.com;

© Dmytro Yashchenko, PhD, Associate Professor,

ORCID:0000-0003-3674-0089,

e-mail: y_d@ukr.net

(National Transport University)

ПОЛІПШЕННЯ МАСКУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БРОНЕАВТОМОБІЛЯ «БАРС-8» ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ ЙОГО РІВНЯ ЗОВНІШНЬОГО ШУМУ

IMPROVING THE CAMOUFLAGE PROPERTIES OF THE BARS-8 ARMORED CAR BY REDUCING ITS EXTERNAL NOISE LEVEL

Анотація. До військових автомобілів, крім загальновідомих виробничих, експлуатаційних, споживчих вимог та вимог безпеки, висувують також специфічні вимоги, зокрема щодо балістичного та протимінного захисту, здатності до маскуваня. Маскуваня – це комплекс заходів, спрямованих на приховуваня своїх військ від спостереженя супротивника. У маскуванні реалізується найважливіший закон війни: «Не виявив – не вразив ціль». Маскувати – значить робити непомітними, невидимими для супротивника військові об'єкти. Це досягається за допомогою впливу на психічну діяльність противника з метою породити в нього ілюзії сприйняття. Вони можуть бути: зорові, звукові, кінестетичні. До звукових відносять шумові перешкоди, в яких необхідно приховати шум бойової техніки або «тиху» військову техніку з низьким рівнем зовнішнього шуму. У цій роботі розглядається поліпшеня маскувальних властивостей військового автомобіля, які є вкрай важливими та залежать від низки факторів: габаритних розмірів, покриття корпусу (термічне випромінюваня) та рівня зовнішнього шуму. Один із найбільших шумів автомобілів – шум відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згораня, який зменшують за допомогою відповідних глушників. Для військового автомобіля є доцільним створеня нового глушника шуму, який принципово відрізнявся б від наявних. Наведено розроблений глушник шуму для бронеавтомобіля «Барс-8». Для розробки глушника за основу було взято популярну в оптиці модель абсолютно чорного тіла у вигляді ізольованої макропорожнини з малим отвором: промінь, потрапивши крізь отвір у порожнину, зазнає багаторазового відбиття, частково поглинається під час кожного з них і практично не повертається звідти. У розробленому глушнику «чорна дірка» забезпечується багаторазове відбиття звукових хвиль від внутрішніх поверхонь сферичної форми. Розроблено математичну модель роботи цього глушника, яка базується на врахуванні багатократного відбиття звукових хвиль від поверхні та коефіцієнта звукопоглинання поверхонь глушника. Встановлено, що ефективність глушника в зоні низьких частот становить 23 дБ. Спрогнозовано залежність рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля «Барс-8» від швидкості руху.

Ключові слова: бронеавтомобіль, «Барс-8», шум, маскуваня, глушник шуму, відпрацьовані газу, абсолютно чорне тіло, чорна дірка, двигун, магістральний цикл.

Abstract. Military vehicles, in addition to well-known production, operational, consumer and safety requirements, are also subject to specific requirements, in particular regarding ballistic and anti-mine protection, camouflage ability. Camouflage is a set of measures aimed at hiding one's troops from enemy observation. In camouflage, the most important law of war is realized: "If you don't detect it, you don't hit the target." To camouflage means to make military objects imperceptible, invisible to the enemy. This is achieved by influencing the enemy's mental activity in order to create illusions of perception. Such illusions include: visual, sound, kinesthetic. Sound barriers include noise barriers, in which it is necessary to hide the noise of military equipment or "quiet" military equipment with a low level of external noise. This work examines the improvement of camouflage properties of a military vehicle, which are extremely important and in turn depend on a number of factors: overall dimensions, body coating (thermal radiation) and external noise level. One of the biggest noises of cars is the noise of exhaust gases from internal combustion engines, which is reduced with the help of appropriate mufflers. For a military vehicle, it is expedient to create a new muffler, which would be fundamentally different from the existing ones. The developed silencer for the armored car "Bars-8" is given. When developing the muffler, the popular in optics model of an absolutely black body in the

form of an isolated macrocavity with a small hole was taken as a basis: the beam, having entered the cavity through the hole, undergoes multiple reflections, is partially absorbed during each of them and practically does not return from there. The developed muffler "black hole" ensures multiple reflection of sound waves from the internal surfaces of a spherical shape. A mathematical model of the operation of this muffler was developed, which is based on taking into account the multiple reflection of sound waves from the surface and the sound absorption coefficient of the muffler surfaces. It was established that the muffler efficiency in the low frequency range is 23 dB. A forecast of the dependence of the external noise level of the Bars-8 armored car on the speed of movement was made.

Keywords: armored car, "Bars-8", noise, masking, silencer, exhaust gases, black body, black hole, engine, main cycle.

Вступ

Однією з обов'язкових умов ведення сучасної війни є ефективно використання засобів маскуванню, за принципом «війна – мистецтво обману». Це стосується як особового складу, так і військової техніки. Свою увагу ми зосередимо на такому виді військової техніки, як броневий автомобіль, а саме – на броневий автомобіль «Барс-8». З метою поліпшення маскуючих властивостей останнього нами бу-

ло розроблено високо-ефективний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ, завдяки чому прогнозується суттєве зменшення рівня зовнішнього шуму цього броневий автомобіль.

Об'єкт дослідження – броневий автомобіль «Барс-8»

Зменшення зовнішнього шуму розглянуто на базі броневий автомобіль «Барс-8» (рис. 1) [1].



Рис. 1. Броневий автомобіль «Барс-8»

З метою зниження рівня зовнішнього шуму нами розроблений глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ «чорна дірка» [2].

Глушник є сферою радіусом R (рис. 2), до якої входять два концентричні патрубки з радіусами r_1 (вхідний) і r_2 (вихідний). Між цими розмірами виконується співвідношення

$$r_1 < r_2 \ll R.$$

З огляду на факт, що $r_1 \ll \lambda$, отвір вхідного патрубка працює як точкове джерело хвиль, яке випромінює майже симетрично в

усі боки. Тому кут нахилу патрубків не має принципового значення. З цієї ж причини не варто розміщувати вихідний отвір у безпосередній близькості із вхідним, щоб виключити пряму передачу звуку по найкоротшому шляху. Розв'язанням цієї проблеми може бути висування впускного патрубка в напрямку до центру сфери на деяку відстань l , таку що

$$r_1 \ll l \ll R.$$

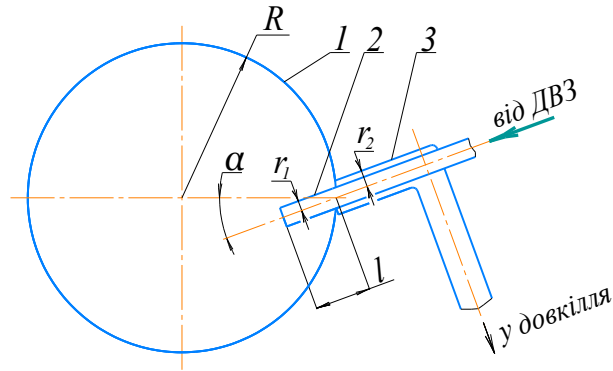


Рис. 2. До математичної моделі розробленого глушника шуму: 1 – корпус глушника; 2, 3 – вхідний та вихідний патрубки відповідно

Для випадку середніх частот, коли $\lambda \approx R$, а тим паче високих, коли $\lambda \ll R$, закон Паскаля в об'ємі камери глушника вже не виконується, і тому прямої передачі тиску між вхідним і вихідним патрубком немає. Тоді треба врахувати можливість багатократних відбивань звукових хвиль від стінок, кожне з яких супроводжується частковим поглинанням. Частина відбитої хвилі потрапляє у вікно вихідного патрубка, здійснюючи свій внесок у звуковий тиск на виході з глушника. Розрахуємо результуючу інтенсивність звуку на виході з глушника. З огляду на те, що звукові хвилі переважно не когерентні, можемо додавати їхню енергію у вихідному патрубку.

Для деякого спрощення моделі покладемо, що кінець вхідного патрубка доходить до середини сферичної камери глушника, тобто

$$r_1 \ll l \approx R. \quad (1)$$

Оскільки співвідношення $r_1 \ll \lambda$, як і раніше, виконується практично на всіх робочих частотах, звукову хвилю, що поширюється від кінця вхідного патрубка, можна вважати сферично симетрично. З огляду на (1), ця хвиля буде поширюватись також симетрично до поверхні камери.

Нехай із кожним квантом звуку в камеру глушника із вхідного патрубка потрапляє початкова енергія звукових коливань і становить E_0 . В умовах симетричного поширення ця хвиля рівномірно розподіляється по поверхні камери площею $S = 4\pi R^2$ (за винятком

площі перерізу вхідного патрубка $S_1 = 4\pi r_1^2$). При цьому на вікно вихідного патрубка площею S_2 потрапляє частина енергії

$$\Delta E_0 = E_0 \frac{S_2}{S - S_1}. \quad (2)$$

Для співвідношення площ у рівнянні (2) зручно ввести позначення

$$k = \frac{S_2}{S - S_1}. \quad (3)$$

Тобто $\Delta E_0 = k \cdot E_0$.

Решта енергії, яка залишається в камері та потрапляє на її стінки, становить:

$$E_0 - \Delta E_0 = E_0 - k \cdot E_0 = E_0(1 - k). \quad (4)$$

Нехай коефіцієнт поглинання поверхні α дорівнює відношенню поглинутої енергії звукових хвиль до хвилі, що падає. Варто зазначити, що це визначення відрізняється від подібного розмірного коефіцієнту, який входить у формулу для визначення часу реверберації [3].

Тоді з енергії, заданої формулою (4), від стінок камери відіб'ється:

$$E_1 = E_0(1 - k)(1 - \alpha).$$

Отже, відповідно до співвідношення (2), після першого відбивання на вікно вихідного патрубка потрапляє така порція енергії

$$\Delta E_1 = k \cdot E_1 = E_0 \cdot k(1 - k)(1 - \alpha). \quad (5)$$

Продовжуючи міркування щодо наступних відбивань, отримаємо формулу для порції енергії звукової хвилі, яка потрапляє на вікно вихідного патрубку після довільного n -го відбивання:

$$\Delta E_n = k \cdot E_n = E_0 \cdot k(1-k)^n(1-\alpha)^n.$$

Формула (5) є не чим іншим, як формулою для n -го члена геометричної прогресії, для якої перший член $\alpha_1 = E_0 k$, а знаменник $q = (1-k) \cdot (1-\alpha) < 1$. Тоді результуючу енергію звукової хвилі на виході глушника знайдемо як суму нескінченної спадної геометричної прогресії, $s = \alpha_1 / (1-q)$:

$$E = \sum_{n=0}^{\infty} \Delta E_n = \frac{E_0 \cdot k}{1 - (1-k) \cdot (1-\alpha)} = \frac{E_0 \cdot k}{k + \alpha(1-k)} \quad (6)$$

У цьому випадку не є істотним, який конкретно індекс (0 чи 1) приписано 1-му члену прогресії, оскільки початок нумерації умовний.

З огляду на значення величин у формулі (3), можна вважати $k \ll 1$. Тоді співвідношення (6) спрощується до вигляду

$$E = E_0 \frac{k}{k + \alpha}. \quad (7)$$

Враховуючи зв'язок інтенсивності звуку з енергією $I_0 = E_0 / S_1$ та $I = E / S_2 \approx E / S_1$, знайдемо остаточне співвідношення для рівня гасіння шуму:

$$\Delta L = L - L_0 = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{k}{k + \alpha}$$

де α – безрозмірний коефіцієнт поглинання матеріалу стінок камери глушника, коефіцієнт k визначається співвідношенням

$$k = \frac{S_2}{S - S_1} = \frac{r_2^2 - r_1^2}{4R^2 - r_1^2} \approx \frac{r_1^2}{4R^2 - r_1^2}.$$

За умови підстановки для коефіцієнту поглинання значення $\alpha = 0,4$, а також для радіусів R і r_1 значень 20 і 3 см, відповідно, з формули (7) отримуємо рівень гасіння шуму $\Delta L = L - L_0 \approx -19 \text{ дБ}$. Слід зазначити, що ця оцінка є досить оптимістичною, але виникає з дещо ідеалізованого сценарію. В реальності на деяких частотах можуть виникати резонанси, внаслідок чого можливе їхнє підсилення. З отриманих співвідношень видно, що підвищення ефективності глушника можливе завдяки збільшенню розміру камери, а також вибору матеріалу стінок із високим звукопоглинанням. Зокрема, перспективним виглядає застосування ребристої структури внутрішніх стінок.

Цікаво також, що отримані теоретичні формули не передбачають частотної залежності для ефективності глушника. В реальності на високих частотах вона може бути вища (близька до отриманого теоретичного значення), оскільки застосована модель є ближчою до реальності. Коли умова $\lambda \ll R$ не виконується, і довжина хвилі стає одного порядку з розмірами системи, починає працювати низькочастотне наближення ($\lambda > R$). Тоді маємо

$$k = \frac{(3 \cdot 10^{-2})^2}{4 \cdot (20 \cdot 10^{-2})^2 - (3 \cdot 10^{-2})^2} \approx 5,66 \cdot 10^{-3};$$

$$\Delta L = 10 \lg \frac{5,66 \cdot 10^{-3}}{5,66^{-3} + 0,2} = -15,6 \text{ дБ} \\ (\text{для } \alpha = 0,2);$$

$$\Delta L = 10 \lg \frac{5,66 \cdot 10^{-3}}{5,66^{-3} + 0,4} = -18,6 \text{ дБ} \\ (\text{для } \alpha = 0,4).$$

На **рис. 3** показана прогнозована залежність рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля «Барс-8» від швидкості руху (на магістральному циклі) з наявним та розробленим глушником.

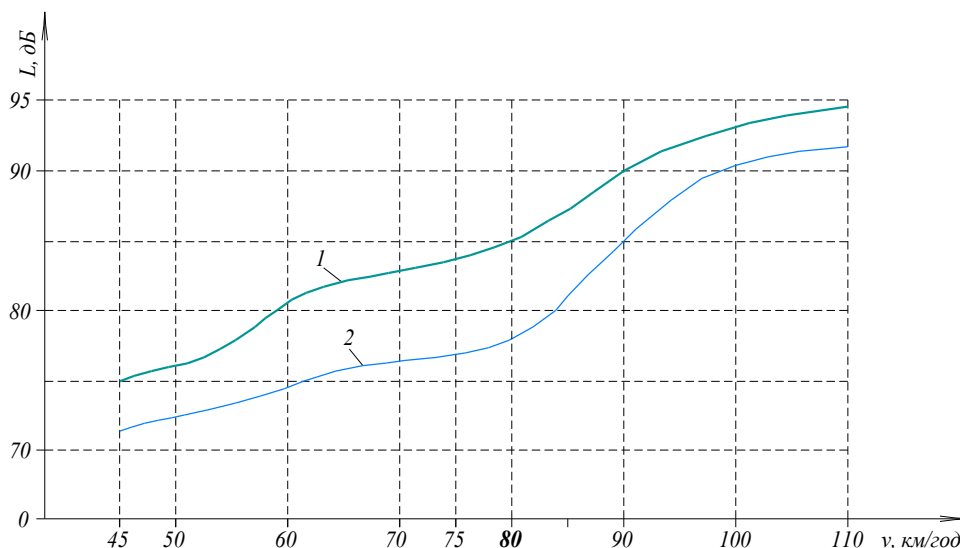


Рис. 3. Залежність рівня зовнішнього шуму броневих автомобіля «Барс-8» від швидкості руху (на магістральному циклі на дорозі): 1 – із наявним глушником; 2 – з розробленим глушником

Висновки

Розроблено математичну модель для визначення акустичної ефективності розробленого глушника в зоні середніх (СЧ) та високих частот (ВЧ). Відповідно до цієї моделі встановлено ефективність глушника в зоні СЧ і ВЧ: близько 19 дБ.

В результаті впровадження розробленого глушника шуму прогнозується зменшення рівня зовнішнього шуму броневих автомобіля «Барс-8» на 3 – 6 дБ в діапазоні швидкостей руху 45 – 110 км/год.

References

1. Ukrainian Military Pages. (2019). "Bars-8". Retrieved from <https://www.ukrmilitary.com/2019/07/bars8.html>.
2. Utility model patent No. 79130 UA, IPC (2006) F01N 1/06. Exhaust silencer / V. V. Fedorov, V. P. Sakhno; National Transport University. – Application 09.02.2005; Publ. 05/25/2007; Bul. No. 7.
3. Fedorov V. V. (2008). Akustyka avtomobilya. Prynt [Car acoustics: Print]. Kyiv, 285. [in Ukraine].