

УДК 629.113/.115; 534.836.2; 534.286;
621.43.065

DOI: 10.33868/0365-8392-2024-1-278-45-53

© 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;
© М. О. Коломієць, магістрант,
e-mail: kma1320@icloud.com
(Національний транспортний університет)

© Volodymyr Fedorov, Ph.D., Associate Professor,
ORCID: 0000-0002-1085-5112,
e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;
© Oleksii Korpach, Ph.D., Associate Professor,
ORCID: 0000-0002-2496-4395,
e-mail: korpach1988@gmail.com;
© Dmytro Yashchenko, Ph.D., Associate Professor,
ORCID: 0000-0003-3674-0089,
e-mail: y_d@ukr.net;
© Maksym Kolomiets, Master Degree,
e-mail: kma1320@icloud.com
(National Transport University)

ГЛУШНИК-ОХОЛОДЖУВАЧ ЯК ЗАСІБ ЗМЕНШЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ШУМУ БРОНЕАВТОМОБІЛЯ «ТРИТОН-01»

SILENCER-COOLER AS A MEANS OF REDUCING THE EXTERNAL NOISE OF THE "TRITON-01" ARMORED VEHICLE

Анотація. Проблема маскування військової техніки є вкрай актуальною. У цій роботі запропоноване певне поліпшення маскувальних властивостей шляхом зниження рівня зовнішнього шуму для броневих автомобілів «Тритон-01». Броневий автомобіль «Тритон-01» обладнаний дистанційно керованим бойовим модулем, системою розвідки і виявлення цілей та системою передачі інформації. Цей броневий автомобіль має низку джерел шуму, серед яких досить потужне є система випуску, тобто шум відпрацьованих газів. Цей вид шуму зменшують відповідними глушниками. Як показують практичні дослідження, на сьогодні шум відпрацьованих газів військової техніки не достатньо придушений глушниками. Пропонуємо розроблений комплексний глушник, що складається з послідовно з'єднаних двох глушників: однокамерного реактивного та глушника-охолоджувача. Розроблений глушник-охолоджувач шуму відпрацьованих газів містить герметичний корпус, заповнений холодоагентом, вхідний та вихідний патрубків і газопровід для відпрацьованих газів, виконаний прямолінійним уздовж осі глушника і з фігурними стінками, які забезпечують максимальний периметр у цьому перерізі. Проходячи через газопровід, відпрацьовані гази через його стінки віддають тепло охолоджувальному середовищу. Від наявних глушників-охолоджувачів розроблений відрізняється конструктивно: значно збільшена площа контакту охолоджувальної рідини з поверхнею глушника. Внаслідок охолодження відпрацьованих газів суттєво зменшується швидкість переміщення останніх, а відповідно й рівень акустичних (шумових) коливань у цих газах. У роботі запропоновано розрахунок системи охолодження, яка має охолоджувати відпрацьовані гази. Надана пропозиція використання холодоагенту, який готується завчасно, до бойового виїзду броневих автомобілів. Можливі варіанти приготування холодоагенту: самим броневим автомобілем або спеціалізованою мобільною установкою.

Ключові слова: броневий автомобіль, «Тритон-01», шум, маскування, глушник шуму, відпрацьовані гази, двигун, охолоджувач, холодоагент.

Abstract. The problem of camouflage of military equipment is extremely urgent. In this work, a certain improvement of masking properties is proposed by reducing the level of external noise for the Triton-01 armored car. The Triton-01 armored car is equipped with a remote-controlled combat module, a reconnaissance and target detection system, and an information transmission system. This armored car has a number of sources of noise, among which the exhaust system is quite powerful, that is, the noise of exhaust gases. This type of noise is reduced by appropriate mufflers. As practical studies show, at the moment the noise of exhaust gases of military equipment is not sufficiently suppressed by mufflers. We offer a developed complex muffler consisting of two mufflers connected in series: a single-chamber reactive muffler and a cooling muffler. A muffler-cooler of exhaust gas noise has been developed, which contains a hermetic housing filled with refrigerant, inlet and outlet nozzles and a gas pipe for exhaust gases, made straight along the axis of the muffler and with shaped walls that provide the maximum perimeter in a given section. Passing through the gas pipeline, the exhaust gases give off heat to the cooling medium through its walls. The developed one is structurally different from the existing silencers-coolers: the contact area of the cooling liquid with the surface of the silencer is significantly increased. As a result of the cooling of exhaust gases, the speed of movement of the latter is significantly reduced, and as a result, the level of acoustic (noise) vibrations present in these gases. The work calculates the cooling system, which should cool the exhaust gases. A proposal was made to use a refrigerant that is prepared in

advance for the combat departure of an armored vehicle. There are possible options for preparing the refrigerant: the armored car itself or a specialized mobile installation.

Keywords: armored car, "Triton-01", noise, masking, silencer, exhaust gases, engine, cooler, refrigerant.

Вступ

Маскування для військових автомобілів є життєво важливим завданням. Один із демаскувальних факторів для бронеавтомобілів – зовнішній шум. Одним із найпотужніших джерел шуму останніх є відпрацьовані гази. Тому очевидно, що створення високоефективного глушника шуму відпрацьованих газів двигунів – дуже актуальна

задача, особливо у воєнний час. Цей глушник шуму має принципово відрізнятися від наявних.

Об'єкт дослідження – бронеавтомобіль «Тритон-01»

Зменшення зовнішнього шуму нами розглядалось на базі бронеавтомобіля «Тритон-01» (рис. 1) [1].

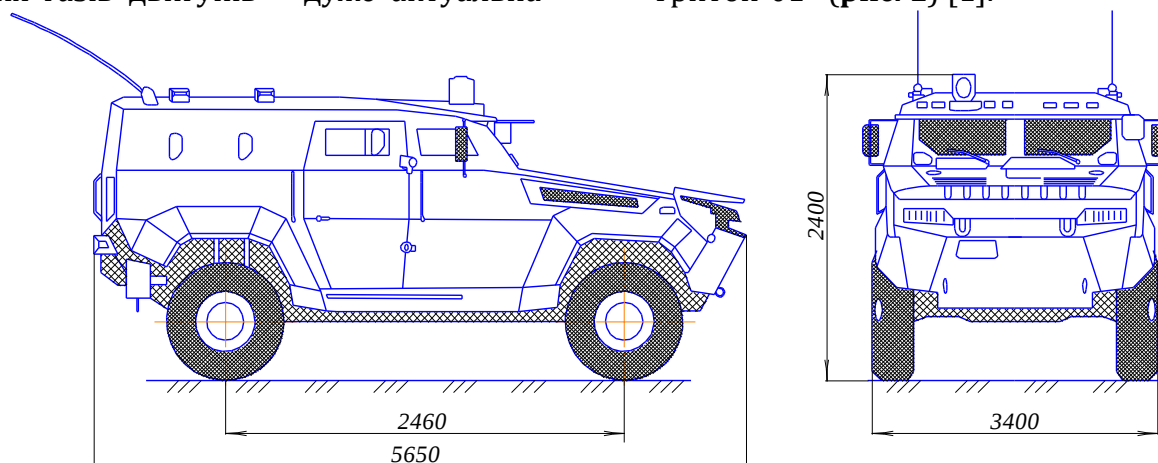


Рис. 1. Бронеавтомобіль «Тритон-01» (габаритні розміри)

Бронеавтомобілі «Тритон-0103» обладнані дистанційно керованим бойовим модулем, системою розвідки та виявлення цілей і системою передачі інформації.

Корпус машини зроблений зі сталеві катаної гомогенної броні, що забезпечує протикульний та протиосколковий захист рівня STANAG 4569 Level 2. Лобова 12-14 мм та скло витримують влучання кулі 12,7-мм. Бокова/верхня 6,5 мм витримує влучання кулі 7,62 мм [2].

Використання шасі БТР-70 спростило обслуговування та ремонт машини особовим складом ремонтних підрозділів.

Платформу «Тритон-01» укомплектовано чотирициліндровим дизельним двигуном VOLVO TAD542VE з робочим об'ємом 5,13 л, потужністю 218 к. с. та

п'ятиступінчастою механічною або автоматичною коробкою передач (ZF ZTO 1006 або ALLISON 1000 SP відповідно). Підвіска незалежна, важільно-торсіонна з телескопічними амортизаторами. «Тритон» розвиває максимальну швидкість по шосе 110 км/год. Запас ходу становить близько 700 км.

Розроблений глушник-охолоджувач

Для зниження рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля «Тритон-01» нами був розроблений реактивний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ. Його габаритні розміри наведені на рис. 2.

Частотна характеристика розробленого реактивного глушника шуму наведена на рис. 3.

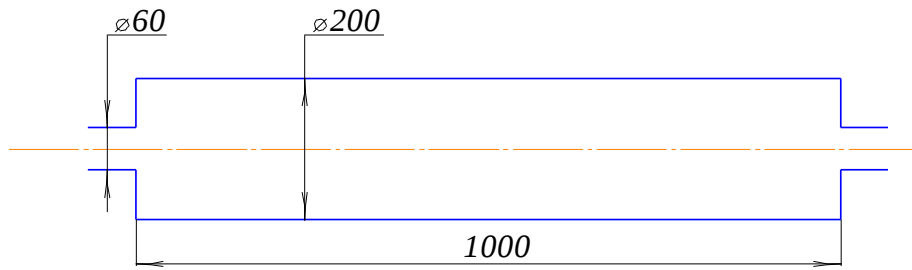


Рис. 2. Ескіз розробленого реактивного глушника шуму

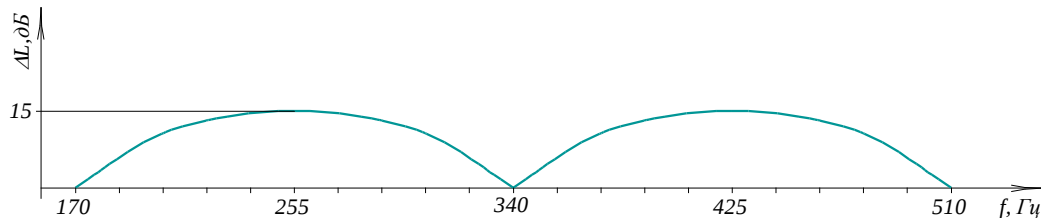


Рис. 3. Частотна характеристика розробленого реактивного глушника шуму

Вважаємо, що розроблений глушник є недостатньо ефективним, тому нами було прийнято рішення: після розробленого реактивного глушника встановити глушник, який би охолоджував відпрацьовані гази, що проходять через нього. Охолодження привело б до зменшення швидкості витікання відпрацьованих газів. Це впливає з формули [3]:

$$dW = k \frac{\rho_c^2 v_c^8}{\rho_0^5 c_0^5} f^8(\eta) \frac{dV}{x} \quad (1)$$

де dW – потужність звуку, що випромінюється елементарним об'ємом газового струменя dV ; k – коефіцієнт; ρ_c – густина струменя; v_c – швидкість витікання; ρ_0 – густина навколишнього середовища; c_0 – швидкість розповсюдження звуку; $f(\eta)$ – функція, яка описує розподіл пульсуючих швидкостей у зоні змішування; η – безрозмірна координата; x – відстань уздовж струменя, яка відраховується від площини зрізу сопла.

Нами був розроблений глушник-охолоджувач шуму відпрацьованих газів, який містить герметичний корпус, заповнений холодоагентом, вхідний та вихідний патрубки і газопровід для відпрацьованих газів, виконаний прямолінійним уздовж осі глушника і з фігурними стінками, які забез-

печують максимальний периметр у цьому перерізі. Проходячи через газопровід, відпрацьовані гази через його стінки віддають тепло охолоджувальному середовищу.

Технічний результат: прямолінійність газопроводу вздовж осі глушника забезпечує мінімальний опір проходженню відпрацьованих газів і, в зв'язку з цим, – мінімальні втрати потужності двигуна на проштовхування відпрацьованих газів через глушник. Максимальне ж охолодження відпрацьованих газів у газопроводі фігурної форми забезпечить значну акустичну ефективність глушника.

На **рис. 4, а** зображений цей глушник шуму відпрацьованих газів, поздовжній розріз; на **рис. 4, б** – розріз А-А на **рис. 4, а** (варіант виконання газопроводу); на **рис. 4, в** – теж розріз А-А на **рис. 4, а** (варіант виконання газопроводу).

Глушник шуму відпрацьованих газів містить циліндричний корпус 1, кінчні передню 2 та задню 3 стінки, які герметично з'єднані з корпусом і з вхідним 4 та вихідним 5 патрубками. До внутрішніх кінців патрубків 4 та 5 через фігурні дифузори 6 та конфузори 7 приєднаний газопровід 8 (або 9) фігурної форми, який утворює фігурний зазор 10 із корпусом 1. Фігурне виконання стінок газопроводу забезпечує його максимальний периметр у цьому перерізі за технологічності виконання. На краях корпусу 1

приєднані вхідна 11 та вихідна 12 трубки для подачі охолоджувального середовища, наприклад, рідини із системи охолодження двигуна, в порожнину між корпусом 1 та га-

зопроводом 8, а також між кінчними передньою 2 та задньою 3 стінками і дифузорм 6 та конфузорм 7.

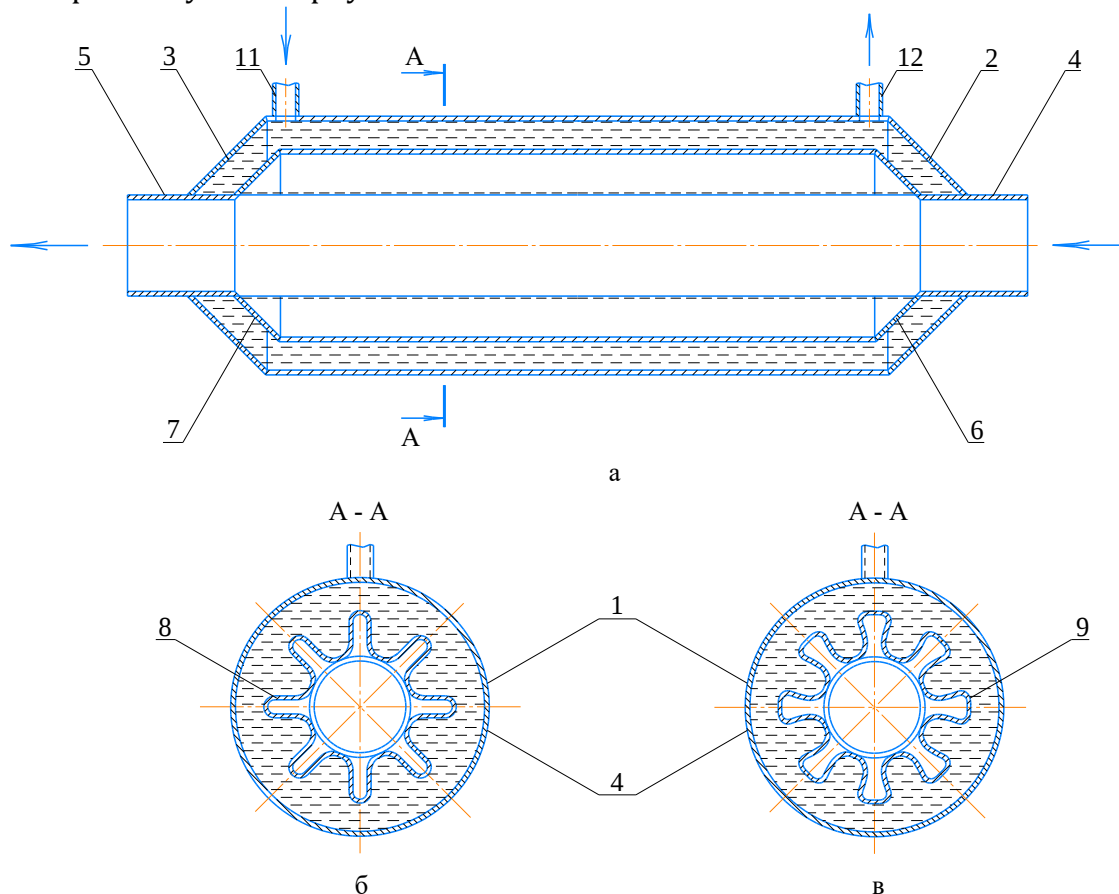


Рис. 4. Розроблений глушник-охолоджувач:

а – головний вигляд; б, в – переріз А-А у різних варіантах фігурних газопроводів;
1 – корпус; 2, 3 – передня, задня стінка відповідно; 4, 5 – вхідний, вихідний патрубків відповідно; 6 – дифузор; 7 – конфузор; 8 (9) – фігурний газопровід; 10 – зазор; 11, 12 – вхідна, вихідна трубки відповідно

За необхідності між корпусом та вихідним патрубком може бути розміщена камера для відділення від відпрацьованих газів конденсату води та оливи і фрикційних часток, які збираються у спеціальній камері (не показані).

Глушник шуму працює за таким принципом.

Відпрацьовані гази потрапляють у впускний патрубок 4, розширюються у фігурному дифузорі 6, проходять прямолінійно між стінками газопроводу 8, віддаючи через них тепло охолоджувальному середовищу в зазорі 10, через конфузор 7 прямують у вихідний патрубок 5 і виходять в атмосферу.

Прямолінійність газопроводу вздовж осі глушника забезпечує мінімальний опір проходженню відпрацьованих газів і, у зв'язку з цим, – мінімальні втрати потужності двигуна на проштовхування відпрацьованих газів через глушник.

Визначення ефективності розробленого глушника-охолоджувача

Фактично для зниження зовнішнього шуму бронеавтомобіля «Тритон-01» нами пропонується комплексний глушник, що складається з послідовно з'єднаних двох глушників: реактивного та глушника-охолоджувача (рис. 5).

Визначимо ефективність розробленого глушника-охолоджувача: на скільки буде зменшуватись рівень шуму відпрацьо-

ваних газів, що пройшли через нього, залежно від зниження температури цих газів.

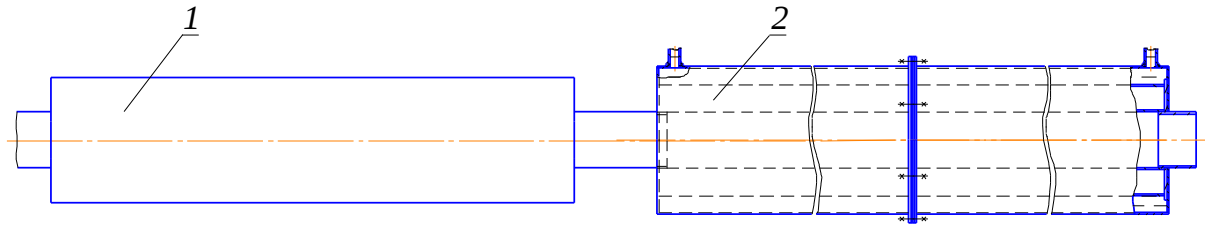


Рис. 5. Розроблений комплексний глушник:
1 – реактивний глушник шуму; 2 – глушник-охолоджувач

Передусім з'ясуємо, як буде змінюватись об'єм відпрацьованих газів, пройшовши через холодильний пристрій. Для цього з допустимим наближенням застосуємо рівняння Клапейрона-Менделєєва для даної ситуації:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}, \quad (2)$$

де p_1, V_1, T_1 – відповідно тиск, об'єм та температура відпрацьованих газів на момент виходу з циліндрів ДВЗ;

p_2, V_2, T_2 – відповідно тиск, об'єм та температура відпрацьованих газів на виході з холодильного пристрою.

Рівняння стану ідеального газу у формі Клапейрона:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const}$$

Нагадаємо, що ізобарний процес – процес зміни стану термодинамічної системи макроскопічних тіл за умов сталого тиску $p = \text{const}$. Якщо допустити, що процес витікання відпрацьованих газів є ізобарним, то рівняння (2) прийме вигляд:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}, \quad (3)$$

Якщо допустити, що відпрацьовані гази не змінюють своєї щільності у процесі

руху від ДВЗ до глушника шуму, то рівняння (3) можна переписати у вигляді:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (4)$$

де v_1 – швидкість руху відпрацьованих газів («гарячих») на вході у глушник шуму;

v_2 – швидкість руху відпрацьованих газів («холодних») на виході з глушника шуму.

Тоді, виходячи з формули (1), маємо залежність пониження рівня шуму відпрацьованих газів (в дБ) внаслідок охолодження останніх від співвідношення температури газів до та після охолодження:

$$\Delta L_w \approx 10 \lg \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^8, \quad (5)$$

позначення ідентичні (2).

Побудуємо залежність на базі формули (5). На **рис. 6** показана залежність зниження рівня шуму відпрацьованих газів унаслідок охолодження останніх від співвідношення температури газів до та після охолодження.

Також окремим ефектом, що сприятиме зменшенню шуму, буде зменшення перепаду тисків між ділянками стиску і розтягу. Кількісно результат цього ефекту оцінити складно.

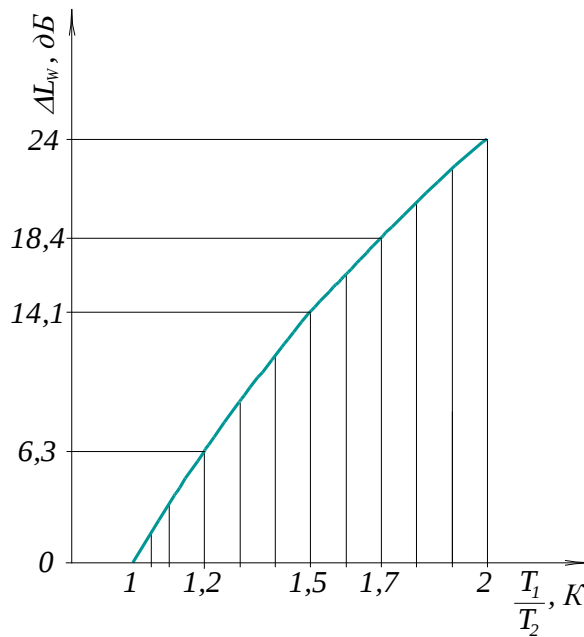


Рис. 6. Залежність пониження рівня шуму відпрацьованих газів унаслідок охолодження останніх від співвідношення температури газів до та після охолодження

Отже, істотні відмінності цієї конструкції глушника забезпечують вирішення поставленого завдання: виконання газопроводу прямолінійним уздовж осі глушника – його економічність завдяки незначному опору прошовхуванню через глушник відпрацьованих газів, а виконання газопроводу з фігурними стінками, які забезпечують максимальний периметр у цьому перерізі, – значну акустичну ефективність глушника через значне збільшення охолодження відпрацьованих газів завдяки різкому збільшенню площі теплопередачі за незмінних довжини та перерізі газопроводу.

На **рис. 7** показана залежність пониження рівня шуму відпрацьованих газів за допомогою розробленого комплексного глушника від співвідношення температури газів до та після охолодження і частоти.

Визначення потужності системи охолодження розробленого глушника

Для визначення потужності системи охолодження розробленого глушника будемо виходити з розрахунку потужності, яка необхідна для зниження на певну температуру відпрацьованих газів двигуна. Для цього треба врахувати питому теплоємність

відпрацьованих газів. Оскільки остання величина досі не встановлювалась, то прийmemo її наближено, виходячи з відомих питомих теплоємностей повітря та вуглекислого газу:

$$Q_{нов} = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) \quad - \text{ питома}$$

теплоємність повітря;

$$Q_{вугл} = 830 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) \quad - \text{ питома}$$

теплоємність вуглекислого газу.

Враховуючи той факт, що відпрацьовані гази містять велику частку саме вуглекислого газу, прийmemo за наближене значення питомої теплоємності відпрацьованих газів таке значення – $Q_{відпр} = 900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

Знайдемо наближену масу відпрацьованих газів, що входять у глушник за одиницю часу (1 с):

$$m_{відпр1с} = V_{1с} \cdot \rho_{відпр},$$

де $V_{1с}$ – об'єм відпрацьованих газів, що входять у глушник за одиницю часу (1 с); $\rho_{відпр}$ – щільність відпрацьованих газів (прийmemo $\rho_{відпр} \approx 1,5 \text{ кг}/\text{м}^3$).

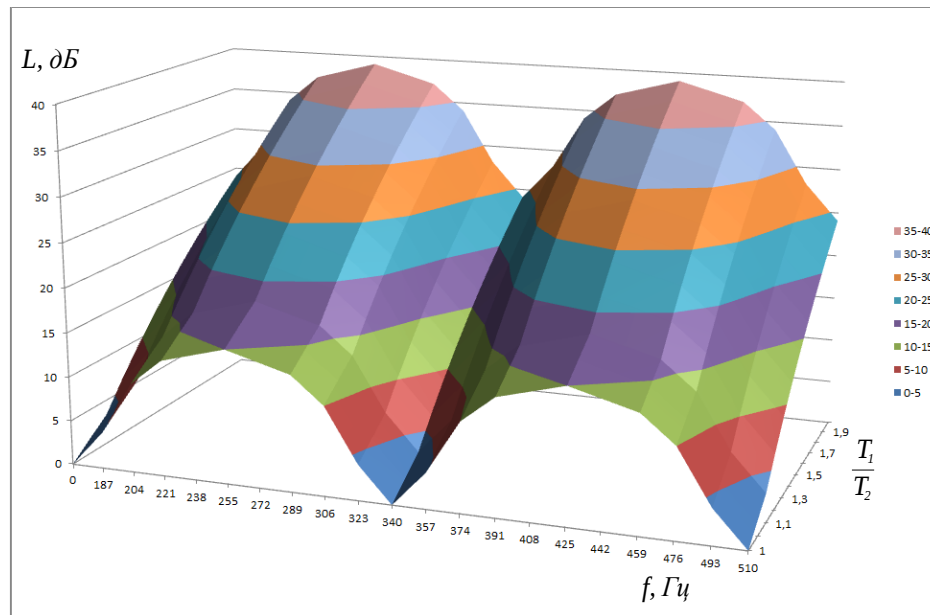


Рис. 7. Залежність пониження рівня шуму відпрацьованих газів за допомогою розробленого комбінованого глушника від співвідношення температури газів до та після охолодження і частоти

Об'єм відпрацьованих газів, що входять у глушник за одиницю часу, знаходимо у такий спосіб:

$$V_{1c} = \frac{V_{ДВЗ} \cdot n}{120},$$

де $V_{ДВЗ}$ – робочий об'єм ДВЗ (у нашому випадку $V_{ДВЗ} = 5,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$); n – частота обертання колінвала, хв^{-1}

Тоді маємо (для $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$):

$$V_{1c} = \frac{5,13 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{120} = 1,275 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3.$$

Тоді маємо:

$$m_{\text{відпр1с}} = 1,275 \cdot 10^{-1} \cdot 1,5 = 0,191 \text{ кг/с}.$$

Враховуючи питому теплоємність відпрацьованих газів ($Q_{\text{відпр}} = 900 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$), маємо таке.

Визначимо величину потужності «відбору» тепла, щоб на даній частоті обертання колін валу, охолоджувати на 1^0 K ту масу відпрацьованих газів, що поступають у глушник за 1 сек:

$$P_{\text{відб}} = m_{\text{відпр1с}} \cdot Q_{\text{відпр}} = 1,275 \cdot 10^{-1} \cdot 900 = 114,75 \text{ Дж/(с} \cdot \text{K)}$$

У **табл. 1** наведені розрахункові дані для відповідних співвідношень температур $\frac{T_1}{T_2}$ ($T_1 = 1000^0 \text{ K}$ – температура відпрацьованих газів на вході у глушник-охолоджувач; T_2 – температура відпрацьованих газів на виході з глушника-охолоджувача), відповідних їм абсолютних відношень та необхідної потужності $P_{\text{відб}}$ системи охолодження глушника-охолоджувача для забезпечення відповідного зниження температури.

Таблиця 1

Відповідність співвідношення температур відпрацьованих газів $\frac{T_1}{T_2}$, температури останніх на виході глушника-охолоджувача T_2 та абсолютній зміні температур останніх ΔT до необхідної потужності холодильної установки $P_{відб}$

$\frac{T_1}{T_2}$	$T_2, ^\circ K$	$\Delta T = T_1 - T_2, ^\circ K$	$P_{відб}, \text{кВт}$
1	1000	0	0
1,05	952	48	5,5
1,1	909	91	10,5
1,2	833	167	19,2
1,3	769	231	26,6
1,4	714	286	32,9
1,5	667	333	38,3
1,6	625	375	43,1
1,7	588	412	47,4
1,8	556	444	51,1
1,9	526	476	54,7
2	500	500	57,5

У табл. 2 наведені розрахункові дані для відповідних співвідношень температур $\frac{T_1}{T_2}$ та відповідних їм акустичній ефективності глушника-охолоджувача ΔL_W , необ-

хідної потужності $P_{відб}$ системи охолодження та реальної потужності $P'_{відб}$ (при ККД системи охолодження рівній 0,5).

Таблиця 2

Відповідність співвідношення температур відпрацьованих газів $\frac{T_1}{T_2}$, акустичної ефективності глушника-охолоджувача ΔL_W необхідній теоретичній потужності $P_{відб}$ та реальній потужності $P'_{відб}$ системи охолодження

$\frac{T_1}{T_2}$	$\Delta L_W, \text{дБ}$	$P_{відб}, \text{кВт}$	$P'_{відб}, \text{кВт}$
1	0	0	0
1,05	1,7	5,5	11,0
1,1	3,3	10,5	21,0
1,2	6,3	19,2	38,4
1,3	9,1	26,6	53,2
1,4	11,7	32,9	65,8
1,5	14,1	38,3	76,6
1,6	16,3	43,1	86,2
1,7	18,4	47,4	94,8
1,8	20,4	51,1	102,2
1,9	22,3	54,7	109,4
2	24,1	57,5	115,0

Враховуючи результати зроблених розрахунків з визначення потужності системи охолодження розробленого глушника, пропонуємо використання холодоагенту, який готується завчасно, до бойового виїзду броневих автомобіля. Можливі варіанти приготування холодоагенту: самим броневим авто-

білем або спеціалізованою мобільною установкою.

На **рис. 8** показана прогнозована залежність рівня зовнішнього шуму броневих автомобіля «Тритон-01» від швидкості руху (на магістральному циклі) з наявним та із розробленим глушником.

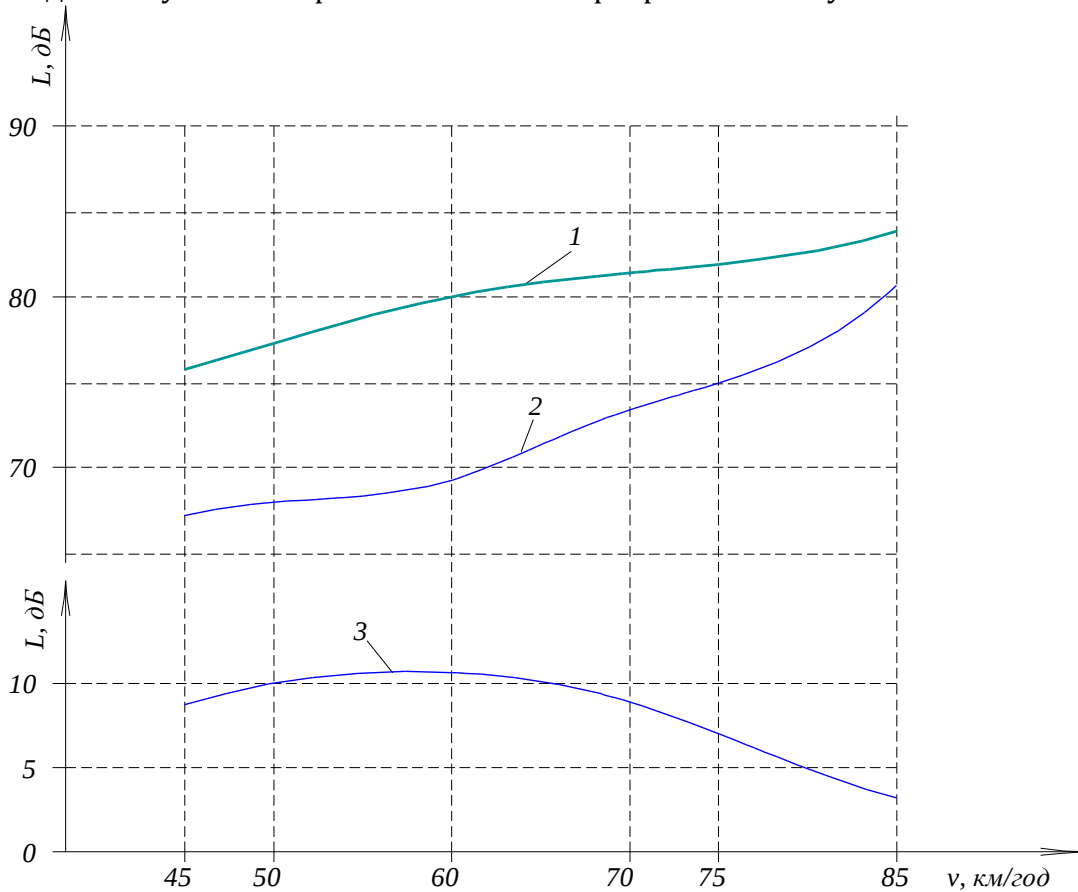


Рис. 8. Залежність рівня зовнішнього шуму броневих автомобіля «Тритон-01» від швидкості руху (на магістральному циклі на дорозі):

1 – з наявним глушником; 2 – з розробленим глушником; 3 – рівні зменшення зовнішнього шуму броневих автомобіля «Тритон-01» завдяки застосуванню розробленого глушника

Висновки

Розроблений комплексний глушник, що складається з послідовно з'єднаних двох глушників: однокамерного реактивного та глушника-охолоджувача. У глушнику-охолоджувачі зниження шуму відпрацьованих газів відбувається завдяки охолодженню останніх. За прогнозами, впровадження розробленого глушника-охолоджувача дозволить зменшити рівень зовнішнього шуму броневих автомобіля «Тритон-01» на 4 – 11 дБА в діапазоні швидкостей руху 45 – 85 км/год.

References

1. Ukrainian Military Pages. (2016). "Tryton-01". Retrieved from <https://www.ukrmilitary.com/2016/01/btr-triton.html>
2. AutoCentre. (2015). What is the secret of the Ukrainian armored car "Triton-01". Retrieved from <https://www.autocentre.ua/ua/news/novinka/v-chem-sekret-ukrainskogo-broneavtomobilya-triton-01-46254.html>
3. Fedorov V. V. (2008). Akustyka avtomobilya. Prynt [Car acoustics: Print]. Kyiv, 285. [in Ukraine].