

УДК 629.113/.115; 534.836.2; 534.286;
621.43.065

DOI: 10.33868/0365-8392-2024-1-278-28-35

© В. В. Федоров, канд. техн. наук, доцент,
ORCID:0000-0002-1085-5112,
e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;
© В. М. Босенко, канд. техн. наук, доцент,
ORCID:0000-0002-9654-949X,
e-mail: bosia4ok@ukr.net;
© Д. Д. Літвінов, магістрант,
e-mail: litdan@ukr.net
(Національний транспортний університет)

© Volodymyr Fedorov, Ph. D., Associate Professor,
ORCID:0000-0002-1085-5112,
e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com;
© Volodymyr Bosenko, Ph. D., Associate Professor,
ORCID:0000-0002-9654-949X,
e-mail: bosia4ok@ukr.net;
© Danyil Litvinov, Master Degree,
e-mail: litdan@ukr.net
(National Transport University)

ДВОКАМЕРНИЙ РЕАКТИВНИЙ ГЛУШНИК ШУМУ ЯК ЗАСІБ ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ЗОВНІШНЬОГО ШУМУ ШАСІ КРАЗ-6511HE

AS A MEANS OF REDUCING THE LEVEL OF EXTERNAL NOISE CHASSIS KRAZ-6511NE

Анотація. Вже понад два роки триває повномасштабна війна України з північним сусідом. Один із найважливіших законів війни звучить так: «Не виявив – не вразив ціль». Мова йде про маскування. У воєнний час маскувальні властивості військового автомобіля є особливо актуальними. Є низка способів їхнього поліпшення. Один із них – це зниження рівня зовнішнього шуму військового автомобіля. На прикладі шасі КраЗ-6511HE розглядається один зі способів пониження шуму. На цьому шасі розміщене РСЗВ БМ 9П140 «Ураган». Розроблений глушник шуму має можливість змінювати свою частотну характеристику синхронно зі зміною частоти обертання колінчастого валу двигуна. Розроблений глушник – це відомий двокамерний реактивний глушник, доробком для якого є здатність змінювати ефективні довжини камер. Наведена схема, на якій показана робота розробленого глушника шуму, де основними елементами є: дві камери глушника, з'єднувальна трубка, механізми приводу поршня першої та другої камер глушника відповідно, електродвигун, блок керування, датчик визначення частоти обертання колінчастого валу. Визначена акустична ефективність цього глушника за фіксованих геометричних параметрів (зовнішній діаметр, діаметри вхідної та вихідної труб) та змінних ефективних довжин обох камер, побудовано сімейства частотних характеристик для різних комбінацій геометричних параметрів глушника. Для побудови графіків написано код мовою Python, який використовує бібліотеки NumPy та Matplotlib. У результаті впровадження розробленого глушника шуму прогнозується зменшення рівня зовнішнього шуму шасі КраЗ 6511HE на 5 – 7 дБА в діапазоні швидкостей руху 45 – 85 км/год.

Ключові слова: автомобіль, шасі, КраЗ-6511HE, двигун, шум, маскування, реактивний глушник шуму, відпрацьовані гази, частотна характеристика.

Annotation. Ukraine's full-scale war with its northern neighbor has been going on more than two years now. One of the most important laws of war is: "If you don't detect it, you don't hit the target." It's about masking. In wartime, the camouflage properties of a military vehicle are especially relevant. There are a number of ways to improve them. One of them is reducing the external noise level of a military vehicle. Using the example of the KrAZ-6511NE chassis, one of the ways to reduce noise is considered. The BM 9P140 "Uragan" anti-aircraft missile system is placed on this chassis. The developed silencer has the ability to change its frequency response synchronously with the change in the engine crankshaft rotation frequency. The developed muffler is a well-known two-chamber reactive muffler, which is modified by the ability to change the effective lengths of the chambers. A diagram showing the operation of the developed noise muffler is given, where the main elements are: two muffler chambers, a connecting tube, piston drive mechanisms of the first and second muffler chambers, respectively, an electric motor, a control unit, and a sensor for determining the frequency of rotation of the crankshaft. The acoustic efficiency of this muffler was determined with fixed geometric parameters (outer diameter, diameters of the inlet and outlet pipes) and variable effective lengths of both chambers, families of frequency characteristics were constructed for various combinations of the muffler's geometric parameters. To construct graphs, code was written in Python, which uses the NumPy and Matplotlib libraries. As a result of the introduction of the developed noise muffler, it is predicted that the external noise level of the KrAZ 6511NE chassis will decrease by 5-7 dBA in the speed range of 45-85 km/h.

Keywords: car, chassis, KrAZ-6511HE, noise, masking, reactive silencer, exhaust gases, engine, frequency response.

Вступ

Зменшення зовнішнього шуму автомобілів – завжди актуальна проблема. Для військових автомобілів у воєнний час вона набирає значно вищого змісту, оскільки передусім розглядається з погляду маскувальних властивостей. Зазвичай найбільшим джерелом шуму в автомобілі є система випуску, яка створює шум відпрацьованих газів ДВЗ. Цей вид шуму знижують за допомогою глушників шуму. Їхнє вдосконалення – це практично безперервний процес. Специфіка спектра шуму відпрацьованих газів полягає у динамізмі останнього: зміною спектра шуму залежно

від зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна. Враховуючи залежність спектра шуму відпрацьованих газів від частоти обертання колінвала, розроблений глушник, що змінював свою частотну ефективність відповідним чином.

Об'єкт дослідження – шасі КрАЗ-6511НЕ

Зменшення зовнішнього шуму нами розглядалось для шасі КрАЗ-6511НЕ (рис. 1) [1], на якому розміщене РСЗВ БМ 9П140 «Ураган», тактико-технічні характеристики якого наведено у табл. 1 [2].

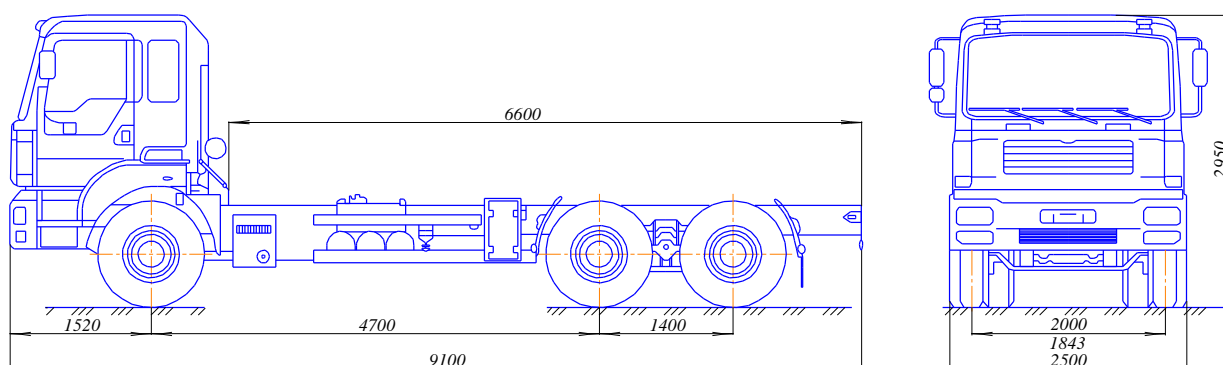


Рис. 1. Шасі КрАЗ-6511НЕ

220-мм реактивна система залпового вогню БМ 9П140 «Ураган» призначена для враження будь-яких групових цілей, вразливими елементами яких є відкрита та прихована жива сила, неброньована, легкоброньована та броньована техніка мотопіхотних і танкових рот, підрозділів артилерії, тактичних ракет, зенітних комплексів та вертольотів на стоянках, командних пунктів, вузлів зв'язку промислової структури, дистанційної установки протитанкових і протипіхотних мінних полів у зоні бойових дій, створення масових вогнищ пожеж та доставки агітаційних матеріалів на відстані від 5 до 35 км.

Розроблений двокамерний реактивний глушник шуму

Розроблений двокамерний реактивний глушник має такі основні складові (рис. 2): 1, 7 – вхідний та вихідний патруб-

ки відповідно (діаметр d); 2, 6 – поршні першої та другої камер відповідно; 3, 5 – перша та друга камери реактивного глушника відповідно (діаметр D); 4 – з'єднувальна трубка (діаметр d); $l_{k \min}$, $l_{k \max}$ – мінімальна та максимальна робоча довжина відповідно порожнини першої та другої камер реактивного глушника; $2l_c$ – довжина з'єднувальної трубки.

На рис. 2, а зображений розроблений двокамерний реактивний глушник для варіанту максимальних довжин першої та другої камер реактивного глушника. На рис. 2, б зображений розроблений двокамерний реактивний глушник для варіанту мінімальних довжин першої та другої камер реактивного глушника.

Тактико-технічні характеристики РСЗВ БМ 9П140 «Ураган» [1, 2]

Шасі	КрАЗ-6511НЕ
Колісна формула	6×6
Повна маса шасі, кг	33 200
Вантажопідйомність, кг	23 400
Максимальна швидкість, км/год	85
Двигун	дизель, рядний з турбонаддувом
Потужність, кВт (к. с.)	220 – 294 (300 – 400)
Коробка передач	механічна, 8(9) передач
Кабіна	дворядна, 4-дверна, безкапотна
Паливний бак, л	250
Калібр, мм	220
Кількість труб, шт.	16
Дальність пострілу, км максимальна мінімальна	35,8 5

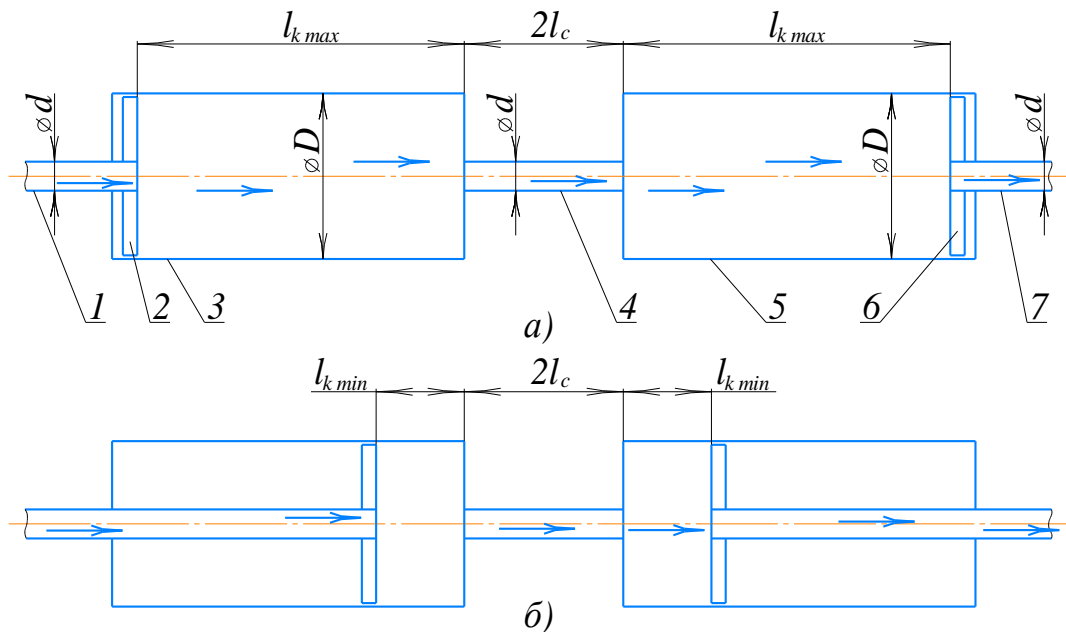


Рис. 2. Двокамерний реактивний глушник шуму:

а – варіант максимальної довжини перша та друга камери реактивного глушника;

б – варіант мінімальної довжини перша та друга камери реактивного глушника;

1, 7 – вхідний та вихідний патрубки відповідно; 2, 6 – поршні першої та другої камер відповідно; 3, 5 – перша та друга камери реактивного глушника відповідно; 4 – з'єднувальна трубка; $l_{k \min}$, $l_{k \max}$ – мінімальна та максимальна робоча довжина відповідно порожнини першої та другої камер реактивного глушника; $2l_c$ – довжина з'єднувальної трубки

Робота розробленого глушника шуму

Розглянемо роботу розробленого глушника шуму в системі «двигун-глушник» (рис. 3).

Відпрацьовані гази потрапляють до глушника через вхідний патрубок 1 та виходять через вихідний 11. Зі зміною частоти обертання колінчастого валу двигуна 18 (має поршні 17), у якого на маховику 16 розміщений датчик визначення частоти 15 обертання колінчастого валу, синхронно (процес керується блоком керування 13) змінюється положення поршня 4 з трубкою 3 для першої камери 5 та поршня 8 з трубкою 9 для другої камери 7 двокамерного реактивного глушника. При цьому блок керування 13 надає команду електродвигунам 14 і 12 відповідно до свого програмного забезпечення. Електродвигуни 14 і 12 через механізми приводів 2 і 10 рухомих трубок 3 і 9 відповідно задають положення поршнів 4 і 8, а також робочі довжини камер 5 і 7. Разом із цим довжина з'єднувальної трубки 6 не змінюється.

Теоретичне визначення акустичної ефективності розробленого глушника

Формула розрахунку зниження рівня шуму для глушників двох камер, що з'єднані зовнішньою трубкою, записується так [3]:

$$\Delta L = 10 \lg \left\{ [\operatorname{Re}(A)]^2 + [\operatorname{Im}(A)]^2 \right\}$$

$$A = \frac{1}{16m^2} \left\{ \begin{array}{l} \left[\begin{array}{l} 4m(m+1)^2 \cos 2k(l_k + l_c) - \\ - 4m(m-1)^2 \cos 2k(l_k - l_c) \end{array} \right] + \\ + i \left[\begin{array}{l} 2(m^2+1)(m+1)^2 \sin 2k(l_k + l_c) - \\ - 2(m^2+1)(m-1)^2 \sin 2k(l_k - l_c) - \\ - 4(m^2-1)^2 \sin 2kl_c \end{array} \right] \end{array} \right\}$$

де $2l_c$ – довжина з'єднувальної трубки;

$m = \frac{D^2}{d^2}$ – коефіцієнт розширення (рис. 2);

$k = \frac{2\pi f}{c}$ – хвильове число, де f – частота

звуку, c – швидкість звуку.

З огляду на необхідність продемонструвати залежність ефективності глушника одночасно від його геометрії та частоти звуку було побудовано сімейства частотних характеристик для різних комбінацій геометричних параметрів глушника. По осі x відкладено частоту звуку f , а по осі y – ефективність глушника $\Delta L(f)$ для вказаного набору розмірів D , d , l_k , l_c . Для побудови графіків було написано код на мові Python [4], який використовує бібліотеки NumPy [5] та Matplotlib [6].

На рис. 4 – 7 наведено групу сімейств графіків, що показують акустичну ефективність розробленого глушника шуму при наступних параметрах: зовнішній діаметр глушника $D = 0,5$ м; діаметр вхідної/вихідної труби $d = 0,06$ м; сімейство півдовжин з'єднувальної труби становить: $l_c = 0,1$ м; $0,3$ м; $0,4$ м; $0,5$ м. Змінюється довжина одиночного реактивного глушника: $l_k = 0,4$ м; $0,6$ м; $0,8$ м; $1,0$ м; $1,2$ м.

Прогноз ефективності розробленого глушника шуму

Використовуючи дані про частоти перших гармонік для різних швидкостей руху автомобіля (розрахунки не надавали), підбираємо частотні характеристики розробленого глушника шуму з відповідними для кожного випадку параметрами останнього.

На рис. 8 наведені графіки, на яких відмічені три перші гармоніки шуму відпрацьованих газів ДВЗ при швидкостях руху шасі КрАЗ 6511HE 45 км/год та 50 км/год. Також на даному рисунку показана частотна характеристика розробленого глушника з наступними характеристиками: $l_c = 0,4$ м; $l_k = 0,4$ м і $l_k = 1,2$ м – для швидкості 45 км/год автомобіля КрАЗ 6511HE та $l_c = 0,3$ м; $l_k = 0,4$ м і $l_k = 1,2$ м – для швидкості 50 км/год шасі КрАЗ 6511HE.

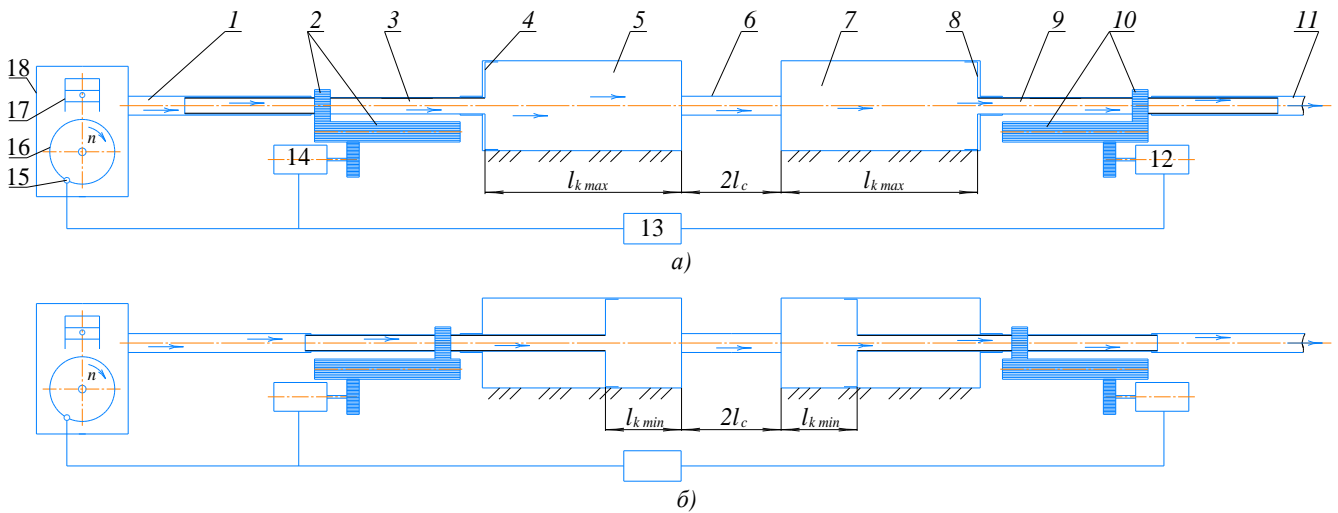


Рис. 3. Розроблений рухомий глушник шуму у комплексі з ДВЗ:

а – варіант максимальних робочих довжин камер; б – варіант мінімальних робочих довжин камер; 1, 11 – вхідний та вихідний патрубки відповідно; 2, 10 – механізми приводу поршня першої та другої камер глушника відповідно; 3 – вхідна труба першої камери; 4, 8 – поршні першої та другої камер відповідно; 9 – вихідна труба другої камери; 5, 7 – перша та друга камери глушника відповідно; 6 – з'єднувальна трубка; 12, 13 – електродвигуни; 13 – блок керування; 15 – датчик визначення частоти обертання колінчастого валу; 16 – маховик; 17 – циліндр двигуна; 18 – ДВЗ

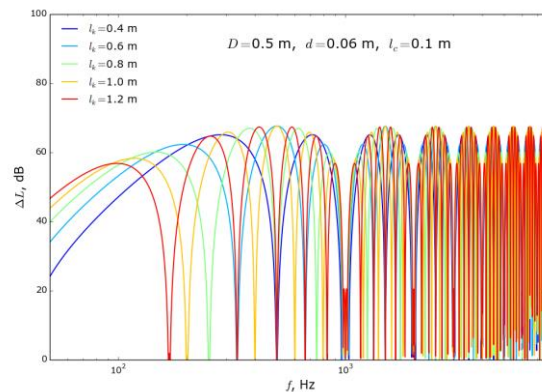


Рис. 4. До розрахунку ефективності розробленого глушника шуму ($l_c = 0,1 \text{ м}$)

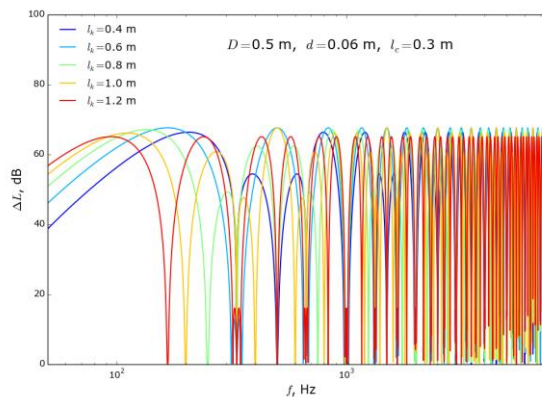


Рис. 5. До розрахунку ефективності розробленого глушника шуму ($l_c = 0,3 \text{ м}$)

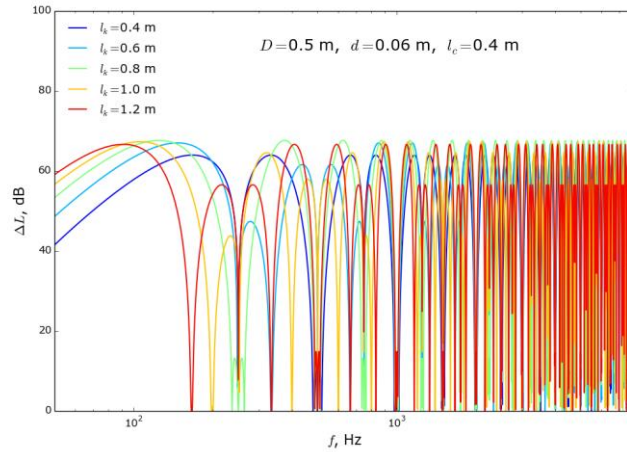


Рис. 6. До розрахунку ефективності розробленого глушника шуму ($l_c = 0,4 \text{ м}$)

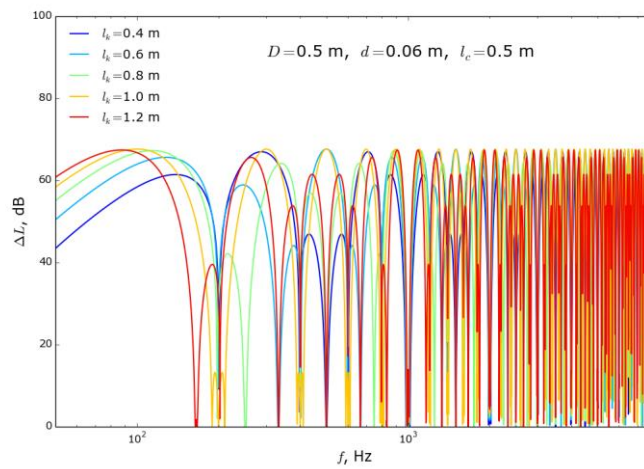


Рис. 7. До розрахунку ефективності розробленого глушника шуму ($l_c = 0,5 \text{ м}$)

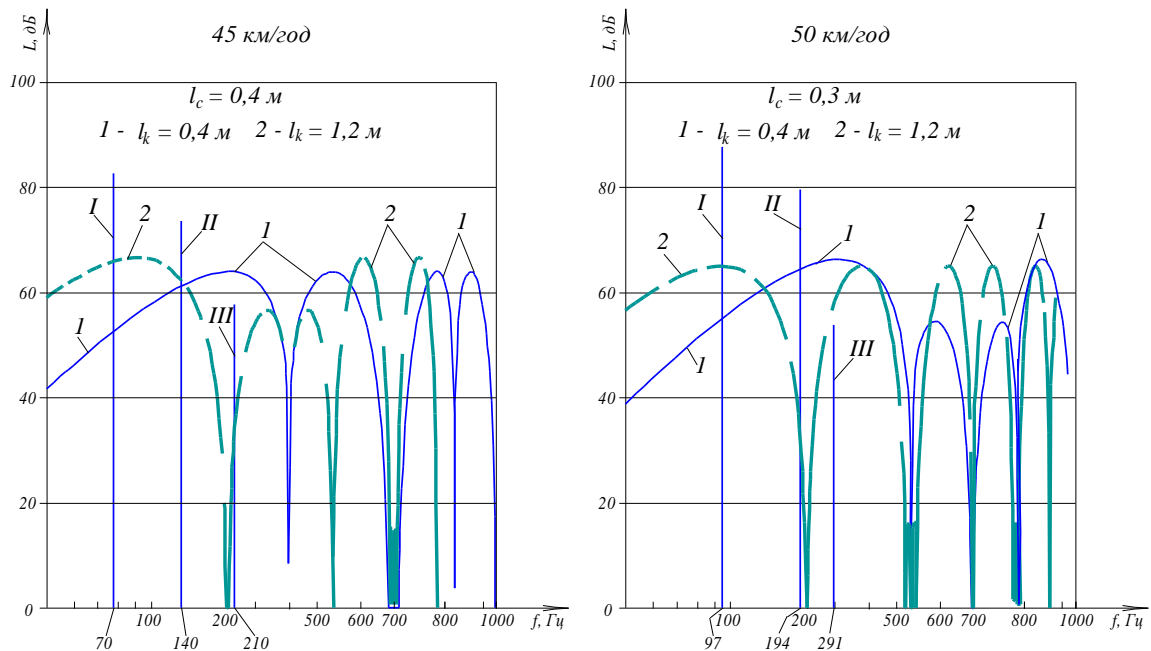


Рис. 8. Залежність рівня шуму (перших трьох гармонік) відпрацьованих газів ДВЗ та ефективності розробленого глушника для шасі КраЗ-6511 за швидкості руху 45 км/год та 50 км/год

На **рис. 9** наведені графіки, на яких відмічені три перші гармоніки шуму відпрацьованих газів ДВЗ за швидкостей руху шасі КраЗ 6511НЕ 75 км/год та 80 км/год. Також на цьому рисунку показана частотна характеристика розробленого глушника з такими характеристиками: $l_c = 0,4 м$; $l_k = 0,4 м$ і $l_k = 1,2 м$ – для швидкості 75 км/год шасі КраЗ 6511НЕ та $l_c = 0,3 м$; $l_k = 0,4 м$ і $l_k = 1,2 м$ – для швидкості 80 км/год шасі КраЗ 6511НЕ.

На **рис. 10** показана прогнозована залежність рівня зовнішнього шуму шасі КраЗ-6511НЕ від швидкості руху (на магістральному циклі) з наявним та із розробленим глушником.

Висновки

Для зменшення рівня зовнішнього шуму шасі КраЗ-6511НЕ запропоновано використання розробленого вискоефективного двокамерного реактивного глушника шуму відпрацьованих газів ДВЗ, принциповою особливістю якого є здатність підлаштовуватись під зміну частоти обертання колінчастого валу двигуна. Це досягається за рахунок змін ефективних довжин обох камер двокамерного глушника. Система, що забезпечує цю зміну, має зворотній зв'язок із двигуном. Завдяки впровадженню розробленого глушника шуму прогнозується зменшення рівня зовнішнього шуму шасі КраЗ 6511НЕ на 5 – 7 дБА в діапазоні швидкостей руху 45 – 85 км/год.

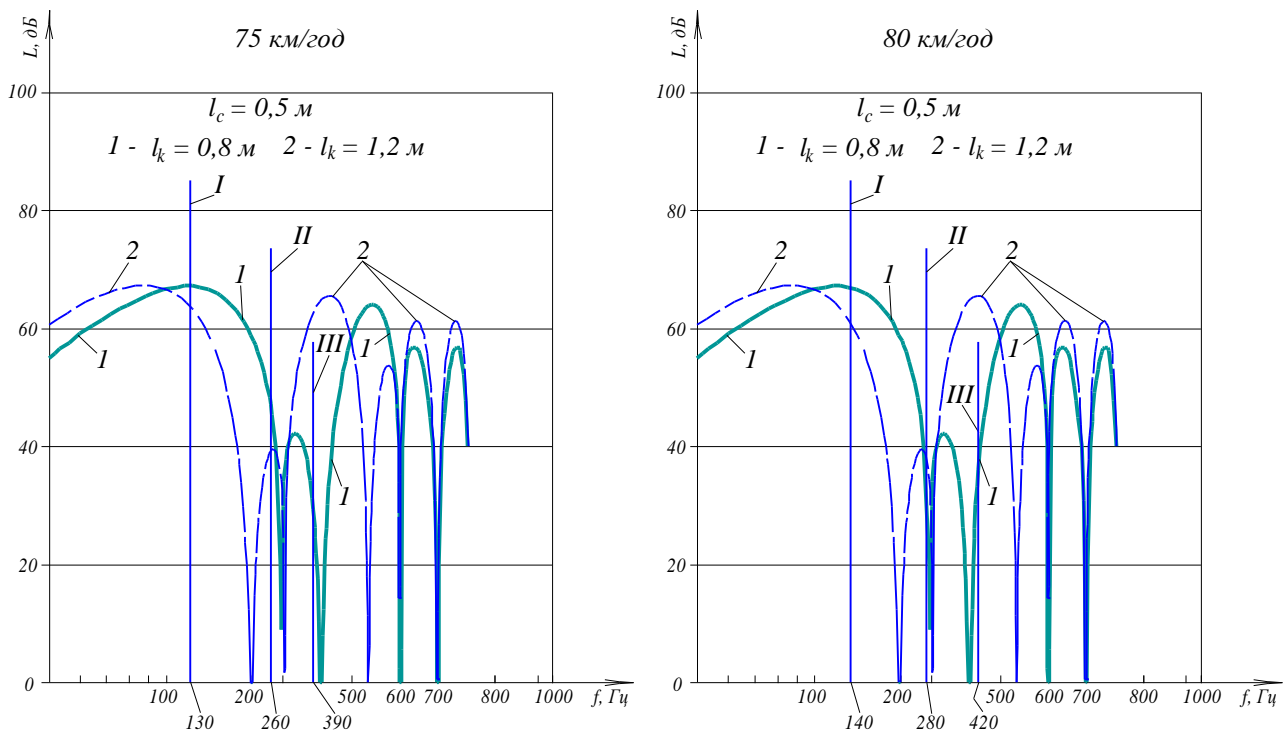


Рис. 9. Залежність рівня шуму (перших трьох гармонік) відпрацьованих газів ДВЗ та ефективності розробленого глушника для шасі КраЗ-6511 за швидкості руху 75 км/год та 80 км/год

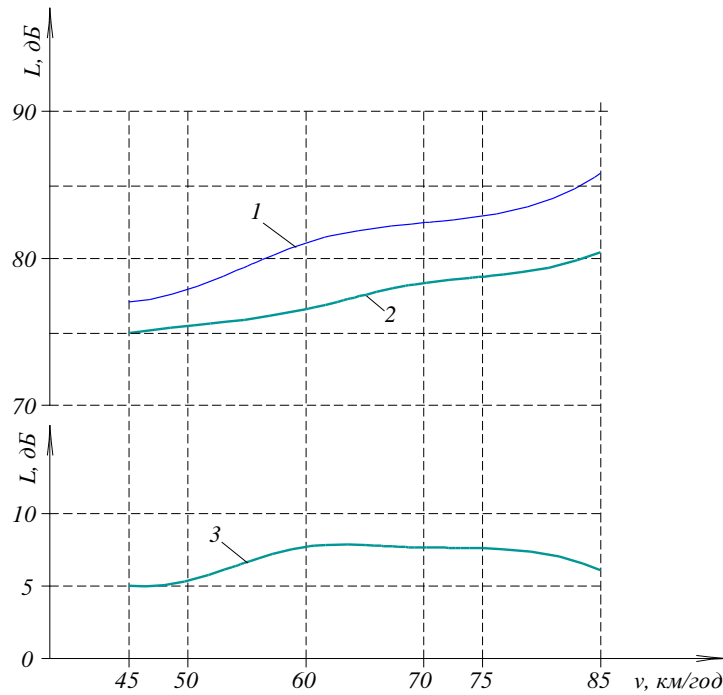


Рис. 10. Прогнозована залежність рівня зовнішнього шуму шасі КрАЗ 6511НЕ від швидкості руху (на магістральному циклі на дорозі): 1 – з наявним глушником; 2 – з розробленим глушником; 3 – рівні зменшення зовнішнього шуму шасі КрАЗ 6511 завдяки застосуванню розробленого глушника

References

1. KrAZ-6511NE. Retrieved from: https://www.trucksplanet.com/photo/kraz/6511/6511_k1.pdf.
2. KrAZ-6511NE. Retrieved from: <http://www.autokraz.com.ua/index.php/uk/prroduktsiya/automobile/military/spec/item/4151-rszv-bm-9p140-urahan>.
3. Fedorov, V. V., Filipova, G. A., Yanovsky, V. V., Ternovyi, O. V. (2021). Znyzhennya zovnishn'oho shumu SAU «Bohdana» na bazi shasi KrAZ-63221 vdos-

konalnym dvokamernym reaktivnym hlushnykom shumu [Reduction of external noise vehicle of spai "Bohdana" on the basis of the KrAZ-63221 improved two-chamber reactive noise silencer]. Kyiv, Avtoshlyahovik Ukraine, 2 (266), 29 - 35.

4. Python.org. Retrieved from: <https://www.python.org/>.
5. NumPy. (2024). Retrieved from: <https://numpy.org/>.
6. Matplotlib – Visualization with Python. (2024). Retrieved from: <https://matplotlib.org/>.