

УДК 629.113/115; 534.836.2; 621.43.65

© Федоров В. В., канд. техн. наук, доцент,  
 © Яновський В. В., канд. техн. наук, доцент,  
 © Яценко Д. М., канд. техн. наук, доцент (НТУ)

## УДОСКОНАЛЕНИЙ КОМПЛЕКСНИЙ РЕЗОНАНСНИЙ ГЛУШНИК ШУМУ

**Анотація.** З шумом відпрацьованих газів борються за допомогою глушників, зокрема резонансних. Вони є найбільш ефективними серед глушників, проте ця ефективність поширюється на дуже вузький частотний діапазон. Такий недолік обмежує їхнє застосування. Розроблено вдосконалену порівняно з наявною конструкцію резонансного глушника шуму, принциповою відмінністю якої є можливість автоматично змінювати свою частотну характеристику залежно від зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна.

**Ключові слова:** автомобіль, двигун внутрішнього згорання, вихлоп, відпрацьовані гази, шум, джерело шуму, акустична ефективність, шумоглушіння.

**Аннотация.** С шумом отработанных газов борются с помощью глушителей шума, в частности и резонансных. Резонансные глушители — самые эффективные среди существующих глушителей, но их эффективность распространяется на очень узкий частотный диапазон. Этот недостаток ограничивает их применение. Разработано усовершенствованную в сравнении с существующими конструкциями резонансного глушителя шума, принципиальным отличием которого есть возможность автоматически менять свою частотную характеристику в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя.

**Ключевые слова:** автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, выхлоп, отработанные газы, шум, источник шума, акустическая эффективность, шумоглушение.

**Abstract.** Silencers, including resonant ones are used to compensate engine exhaust gases noise. Resonant silencers are the most efficient among all existing ones, but their efficiency is applicable only to very narrow frequency range. This drawback limits their use. An advanced concept of the resonance silencer comparing to existing ones has been developed. The fundamental difference of a new concept is an ability to automatically adjust its frequency response depending on the change of engine crankshaft speed.

**Keywords.** Vehicle, internal combustion engine, exhaust, exhaust gases, noise, noise source, acoustic efficiency, soundproofing.

### Вступ

Автомобіль як акустична система має багато джерел шуму. Шум відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання є одним з найгучніших, а тому, зменшуючи його, можна суттєво зменшити шум автомобіля в цілому.

З шумом відпрацьованих газів борються за допомогою різноманітних глушників. Один із різновидів — резонансні. Їхньою характерною ознакою є висока акустична ефективність у вузькому діапазоні частот та забезпечення роботи двигуна із значно меншими втратами потужності, ніж за умови використання інших глушників. Вузький частотний діапазон дії резонансних глушників — їхній великий недолік і причина досить обмеженого застосування. Двигун автомобіля має таку специфіку, що в процесі роботи постійно змінює частоту обертання колінчастого валу, а значить, змінюється частота вихлопу. А тому використання резонансних глушників на автомобілях досі було можливим винятково в ролі однієї зі складових у комплексному глушнику шуму системи вихлопу і жодним чином самостійно.

### Основна частина

У процесі створення глушників постає два завдання: по-перше, забезпечити найбільшу акустичну ефективність шумоглушіння; по-друге, домогтися найменшої втрати потужності на глушнику двигуна внутрішнього згорання. У розробленому резонансному глушнику [1] це досягається шляхом використання групи резонансних глушників, які разом утворюють комбінований глушник. Тому є необхідним введення поняття «комплексний» резонансний глушник.

Принципова відмінність цього глушника від резонансного [2, 3] полягає в тому, що налаштування резонансної частоти кожної складової комплексного глушника відбувається індивідуально, а не загальним механізмом (наприклад, за допомогою копіра [2]). Завдяки цьому вдається не лише значно підвищити точність налаштування частоти резонансу окремо взятого одиночного резонансного глушника, але й вирішити поставлену задачу в якісному сенсі, оскільки налаштування одиночних глушників згідно з [2] є вкрай проблематичним. Ця проблема пояснюється складною залежністю частоти резонансу глушника від його об'єму [4].

Розглянемо конструкцію комплексного резонансного глушника (рис. 1). Резонансний глушник складається з декількох одиночних резонансних глушників (на рис. 1 позначені А і Б), блоку керування 1, електромеханічного регулятора І (рис. 2), системи визначення положення штока поршня ІІ (рис. 3).

Двигун внутрішнього згорання 2 має  $i$  циліндрів 3. Колінчастий вал двигуна обертається з частотою  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ . На маховику двигуна встановлений датчик визначення частоти обертання колінчастого валу 4.

Резонансний глушник А має порожнину у вигляді циліндра з висотою  $H$  і радіусом  $R$ , горловину у вигляді циліндра з висотою  $l$  і радіусом  $r$ . Дно циліндра являє собою поршень 5 радіуса  $R$ . Положення поршня 5 коректується за допомогою штока 6. Відпрацьовані гази рухаються від двигуна по вихлопному трубопроводу 7.

Резонансний глушник працює таким чином.

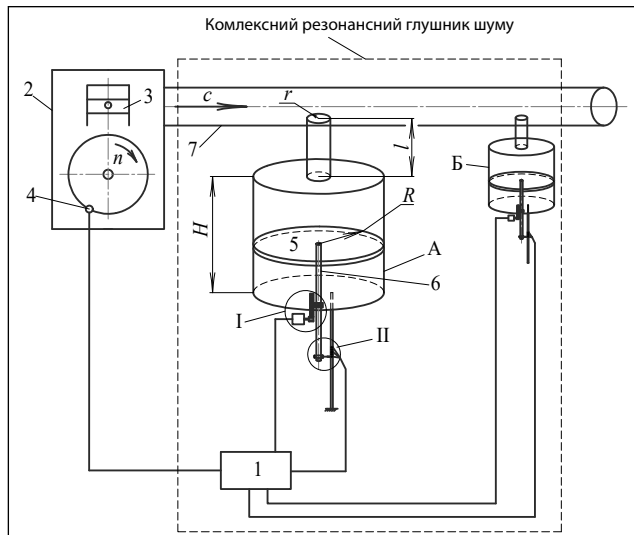


Рис. 1. Комплексний резонансний глушник шуму ДВЗ [1]:

А, Б — одиночні резонансні глушники шуму; I — електромеханічний регулятор; II — система визначення положення штока поршня; 1 — блок керування; 2 — двигун внутрішнього згорання; 3 — циліндр ДВЗ; 4 — датчик визначення частоти обертання колінчастого валу; 5 — поршень одиночного резонансного глушника шуму; 6 — шток; 7 — вихлопний трубопровід.

Двигун 2 під час роботи виділяє відпрацьовані гази, в яких рухаються акустичні хвилі (шум) зі швидкістю (рис. 1). Відпрацьовані гази разом із шумом рухаються по вихлопному трубопроводу 7, до якого вмонтований комплексний резонансний глушник шуму у вигляді серії одиночних резонансних глушників. Кількість одиночних резонансних глушників визначається залежно від спектру шуму відпрацьованих газів двигуна та вимог зі зменшення шуму. Кожен з одиночних резонансних глушників налаштований на одну гармоніку спектра шуму. Принцип дії глушника загалом розглянемо на одному одиночному резонансному глушнику, який, наприклад, буде гасити першу гармоніку шуму відпрацьованих газів. До речі, її погасити найважче, оскільки вона найнижчої частоти. Тому перший одиночний резонансний глушник буде мати найбільші габаритні розміри, кожен наступний — менші порівняно з попереднім.

Сигнал з датчика визначення частоти обертання колінвала 4 надходить на блок керування 1, в якому вираховується частота обертання колінчастого валу ДВЗ ( $\text{хв}^{-1}$ ), порівнюється з положенням датчика переміщення 6 у системі визначення положення штока поршня II та подається керівний сигнал на електро-механічний регулятор I. Цим самим підбирається відповідний об'єм порожнини одиночного резонансного глушника.

Деякі слова про електромеханічний регулятор I (рис. 2) та систему визначення положення штока поршня II (рис. 3). Електромеханічний регулятор I складається з електродвигуна 8, редуктора 9 та штока 6. Система визначення положення штока поршня II складається з датчика переміщення 10 (наприклад, джерело лазерного променя), який закріплений на штоці 6 (рис. 2) та стержня 11 (рис. 3), який жорстко зв'язаний з корпусом

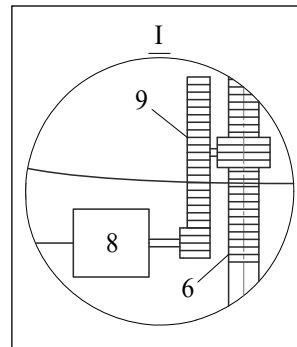


Рис. 2. Електромеханічний регулятор (виноска I рис. 1): 6 — шток; 8 — електродвигун; 9 — редуктор.

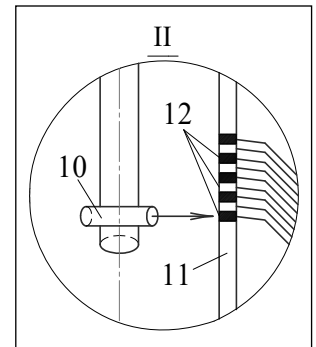


Рис. 3. Системи визначення положення штока поршня (виноска II рис. 1): 10 — датчик переміщення; 11 — стержень; 12 — набір світлочувливих елементів.

сом резонансного глушника. На стержні 11 встановлено набір світлочувливих елементів 12 (рис. 3), які фіксують сигнал з датчика переміщення та передають його на блок керування 1 (рис. 1). Залежно від того, який саме елемент зафіксував сигнал з датчика переміщення 10, електродвигун 8 піднімає шток 6 поршня 5 або опускає, отримуючи сигнал керування з блоку управління 1.

На рис. 4 наведено збірне креслення комплексного глушника, розробленого для автомобіля КрАЗ 6322.

Зробимо розрахунок одиночного резонансного глушника для першої гармоніки шуму двигуна.

ДВЗ випромінює шум, перша гармоніка якого має частоту:

$$f_1 = \frac{ni}{60\tau},$$

де  $\tau$  — коефіцієнт тактності частота (для чотиритактних ДВЗ  $\tau = 2$ ).

За умови частоти колінвала  $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$  частота першої гармоніки шуму буде становити  $f_1^u = \frac{1200 \times 8}{60 \times 2} = 80 \text{ Гц}$ .

Частота резонансу резонансного глушника вираховується за формулою [4], яка після низки перетворень та з урахуванням позначень рис. 1 матиме такий вигляд:

$$\frac{S}{lV} = \left( \frac{2\pi f_1^p}{c} \right)^2. \quad (1)$$

Для  $f_1^p = 80 \text{ Гц}$  маємо:

$$\frac{S}{lV} = \left( \frac{2\pi f_1^p}{c} \right)^2 = 2,19. \quad (2)$$

Необхідно вибрати ефективні параметри циліндра першого резонансного глушника:  $l$ ,  $S$ ,  $V$ . Причому вони повинні бути зв'язані між собою рівністю (1). Нехай радіус отвору горловини  $r = 0,01 \text{ м}$ , тоді:

$$S = \pi r^2 = \pi 0,01^2 = 3,14 \times 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Нехай довжина горловини становить  $l = 0,05 \text{ м}$ . Тоді, враховуючи (2):

$$V = \frac{S}{2,19 l} = \frac{3,14 \times 10^{-4}}{2,19 \times 0,05} = 2,87 \times 10^{-3} \text{ м}^3.$$

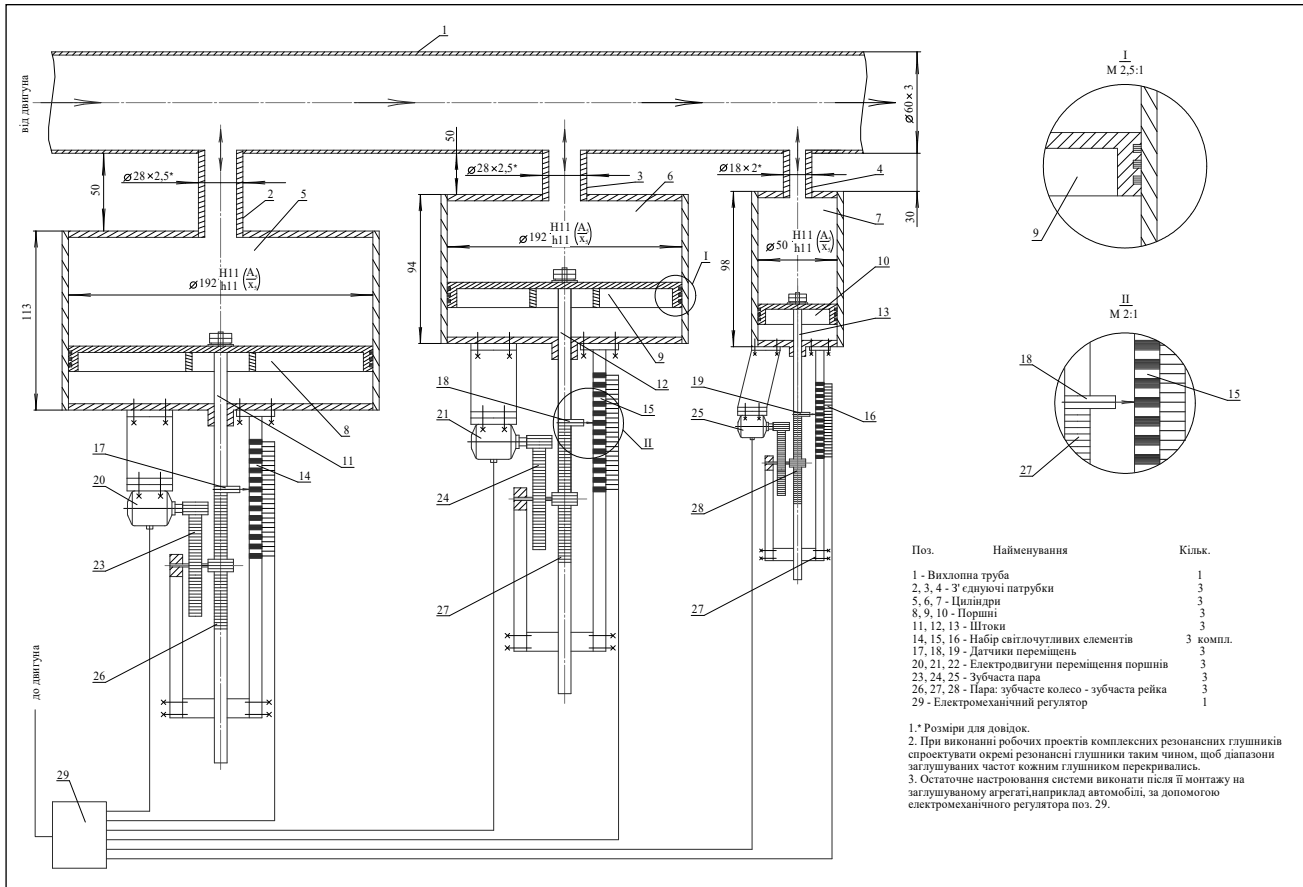


Рис. 4. Збірне креслення комплексного глушника, розробленого для автомобіля КраЗ 6322

Нехай висота циліндра  $H = 0,1$  м, тоді площа циліндра глушника:

$$S^u = \frac{V}{H} = \frac{2,87 \times 10^{-3}}{0,1} = 2,87 \times 10^{-2} \text{ м}^2.$$

Звідси маємо радіус циліндра глушника  $R$ :

$$R = \sqrt{\frac{S^u}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,87 \times 10^{-2}}{\pi}} = 9,56 \times 10^{-2} \text{ м}.$$

Очевидно, що для більш низької частоти треба більш ефективні параметри циліндра глушника. Але враховуючи мінімальну частоту обертання колінчастого вала двигуна, можна стверджувати, що принципової різниці між цими параметрами не буде.

Враховання ефекту Доплера та інших факторів відбувається під час налаштування резонансного глушника для конкретного ДВЗ.

### Висновки

Розроблено новий комплексний резонансний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ автомобілів, принциповою відмінністю якого є можливість автоматично змінювати свою частотну характеристику залежно від зміни частоти обертання колінчастого вала двигуна. При цьому кожен резонансний глушник комплексного глушника змінює свою власну частоту незалежно від іншого. Цей процес керується за допомогою електронного блоку керування. Розроблений глушник не лише суттєво зменшує зовнішній шум автомобіля, але внаслідок своїх конструктивних особливостей підвищує паливно-економічні властивості останнього (завдяки вкрай низькому аеродинамічному опору).

### ЛІТЕРАТУРА

1. Федоров В. В. Спосіб глушіння шуму відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання та пристрій для його здійснення. Патент на винахід № 105110, бюлетень «Промислова власність» № 7, 10.04.2014 р.
2. Федоров В. В., Сахно В. П., Федоров В. А. Резонансний глушник шуму. Патент на винахід № 79047, бюлетень «Промислова власність» № 6, 10.05.2007 р.
3. Федоров В. В. Резонансний глушник шуму // «Автошляховик України». — 2008. — № 1. — С. 20 — 23.
4. Алексеев С. П., Казаков А. М., Колотилов Н. Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении // «Машиностроение». — М.: 1970. — 208 с.