

## К РАСЧЕТУ РЕАКТИВНЫХ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Е. С. АНДРУХОВИЧ, А. Р. КОЖЕНЕВСКИЙ, студенты  
Г. И. БЕЛОХВОСТОВ, кандидат техн. наук, доцент  
М. В. БРЕНЧ, ст. преподаватель  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
Минск, Республика Беларусь

**Введение.** Шум – нежелательный звук и эта проблема является одной из старейших в медицине труда [2, 3, 6–9, 12].

Еще Плиний Старший (23–79 гг. н. э.) в «Естественной истории» описал глухоту у рыбаков, живших и ловивших рыбу вблизи порогов и водопадов Верхнего Нила, т. е. подвергавшихся круглосуточному воздействию шума.

Шум – вечный фактор и проблему надо решать на благо нас и потомков. Роберт Кох отмечал: «Настанет время, когда человечество будет справляться с шумом также решительно, как оно справляется с холерой и чумой».

За 2021 г. в Республике Беларусь распределение по основным нозологическим формам в группе профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием физических факторов трудового процесса, не изменилась: по-прежнему превалирует нейросенсорная тугоухость – 85,7 % от количества всех заболеваний в данной группе.

**Основная часть.** Установка ГШ на впуске и выпуске является наиболее эффективным методом снижения аэродинамического шума дизельных ДВС [1, 4, 5, 10, 11].

В ГШ используются диссипативный и реактивный принципы заглушения звуков, а также принцип экспоненциального рупора, позволяющего заглушать низкочастотный шум.

ГШ диссипативного типа основаны на поглощении звуковой энергии звукопоглощающими материалами и превращении ее в тепло.

В диссипативных ГШ звуки различной частоты заглушаются неодинаково. В этих ГШ в основном поглощается высокочастотный шум. Ослабление же шума на низких частотах сравнительно невелико.

Широкое применение для снижения высокочастотного шума ДВС нашли диссипативные ГШ с параллельным включением активного сопротивления.

ГШ изучаются с помощью электроакустической аналогии.

ГШ реактивного типа основаны на отражении звуковой энергии обратно к источнику излучения за счет влияния массы и упругости воздуха в камерах глушителя.

Реактивные ГШ подразделяются на расширительные и резонансные. Акустический расчет расширительных ГШ производится по формуле:

$$L = -10 \lg \left[ 1 + \frac{1}{4} \left( m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 kl \right] \delta B, \quad (1)$$

где  $L$  – величина заглушения,  $\delta B$ ;

$m = \frac{F_2}{F_1}$  – степень расширения (отношение площади сечения камеры

расширения к площади сечения трубопровода);

$l$  – длина расширительной камеры,  $m$ ;

$k = \frac{2\pi f}{c}$  – волновое число;

где  $f$  – частота звука,  $Гц$ ;

$c$  – скорость звука,  $м/с$ .

Соотношение между длиной и диаметром ГШ оказывает значительное влияние на его акустические характеристики. ГШ небольшой длины сравнительно больших диаметров обеспечивают хорошее заглушение шума в узком диапазоне частот, тогда как ГШ большей длины и малых диаметров обеспечивают заглушение шума в более широком диапазоне, но на меньшую величину. В эксплуатации дизельных ДВС наибольшее распространение находят ГШ, у которых отношение длины к диаметру составляет от 2 до 4.

В результате экспериментальных исследований ГШ установлено, что расширительный ГШ работает как полосовой фильтр. Частотная характеристика заглушения имеет ряд периодически повторяющихся провалов. Формула (1) получена при условии распространения плоских волн.

Акустический расчет резонансных ГШ производится по формуле:

$$L = -10 \lg \left[ 1 + \frac{\alpha - \frac{1}{4}}{\alpha^2 + \beta^2 \left( \frac{f}{f_p} - \frac{f_p}{f} \right)^2} \right], \quad (2)$$

где  $\alpha = \frac{R_0 F}{\rho c}$  – безразмерное активное сопротивление

резонансного ГШ;

$\beta = \frac{F}{\sqrt{kV}}$  – безразмерное реактивное сопротивление

резонансного ГШ.

Эффективность заглушения на резонансной частоте зависит только от активного сопротивления ГШ и равна:

$$L = -20 \lg \left[ 1 + \frac{1}{2\alpha} \right] \partial_B. \quad (3)$$

Активное сопротивление резонансного ГШ приближенно может быть определено по формуле:

$$R_0 = \frac{8\rho}{n\pi d^2} \sqrt{2\omega\mu} \left[ \frac{l}{d} + \left( 1 - \frac{\pi d^2}{4a^2} \right) \right], \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр отверстия резонансной камеры,  $m$ ;

$l$  – длина отверстия,  $m$ ;

$a$  – расстояние между отверстиями,  $m$ ;

$n$  – количество отверстий;

$\rho$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ .

$\mu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха или газа (для воздуха  $\mu_0 = 10^{-4} m^2/c$  при  $20^\circ C$  и  $760 mm\ pt. ст.$ ).

Установлено, что  $\mu = \mu_0 \left( \frac{T^{1.7}}{p_0} \right)$  возрастает с повышением температу-

ры ( $T$  – температура,  $K$ ,  $p_0$  – атмосферное давление). Из формулы видно, что активное сопротивление резонансного ГШ зависит от частоты. Для частот, расположенных вдали от резонансной, эффективность заглушения подсчитывается по формуле:

$$L = -10 \lg \left[ 1 + \frac{1}{4\beta^2 \left( \frac{f}{f_p} - \frac{f_p}{f} \right)^2} \right] \partial_B. \quad (5)$$

Исходя из выбранных размеров ГШ, определяют объем резонансной камеры, а из условия настройки в резонанс – проводимость  $K$ :

$$K = \frac{\frac{\pi d^2}{4} n}{l + \frac{\pi d}{4\psi \left( \frac{d}{a} \right)}}, \quad (6)$$

где  $\psi \left( \frac{d}{a} \right)$  – функция Фока, определяемая по формуле:

$$\psi\left(\frac{d}{a}\right) = \left[ 1 - 1,41\left(\frac{d}{a}\right) + 0,38\left(\frac{d}{a}\right)^3 + 0,068\left(\frac{d}{a}\right)^5 \right]^{-1}. \quad (7)$$

Резонансные ГШ, построенные на принципе отражения, эффективны особенно на низких и средних частотах.

**Заключение.** Сформулированы основные принципы расчета реактивных ГШ поршневых ДВС. Практика их применения показала хорошую сходимость результатов. По результатам исследований предложены инновационные модели ГШ, которые могут быть использованы в системах выпуска ОГ поршневых ДВС транспортных и самоходных сельскохозяйственных машин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ существующих методов защиты от шума и современные направления их совершенствования / А. А. Пинчук [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – Могилев: БГУТ, 2022. – Т. 2. – С. 324–325.
2. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 312 с.
3. Босак, В. Н. Безопасность жизнедеятельности человека / В. Н. Босак. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 356 с.
4. Глушители шума в отечественном и зарубежном дизелестроении / Л. В. Тузов [и др.] // Глушители шума. – Москва, 1968. – 37 с.
5. Глушители шума поршневых двигателей внутреннего сгорания: классификация, основные требования, инновационные конструкции / Г. И. Белохвостов [и др.] // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2022. – С. 56–64.
6. Денисов, Э. И. Громкость и вредность шума / Э. И. Денисов, И. В. Степанян // Защита населения от повышенного шумового воздействия. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 257–263.
7. Исследование производственного шума / А. Е. Кондраль [и др.]. – Горки: БГСХА, 2019. – 15 с.
8. Оказание доврачебной помощи пострадавшим при несчастных случаях на производстве / В. Н. Босак [и др.]. – Горки: БГСХА, 2022. – 46 с.
9. Охрана труда / В. Н. Босак [и др.]. – Горки: БГСХА, 2022. – 288 с.
10. Современные подходы к разработке глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания / Г. И. Белохвостов [и др.] // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 40–44.
11. Улучшение гидравлических характеристик глушителей шума / М. В. Кунаш [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 294–296.
12. Чашинский, А. Н. Защита от производственного шума в строительстве / А. Н. Чашинский, И. А. Богданов, А. Е. Кондраль // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2023. – С. 123–124.