

РАСЧЕТ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА ДВС

А. Г. КОЛЯДА, А. П. ПИЛИПЧУК, студенты
Г. И. БЕЛОХВОСТОВ, кандидат техн. наук, доцент
М. В. КУНАШ, аспирант
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
Минск, Республика Беларусь

Глушители шума (ГШ) являются неотъемлемой частью выпускной системы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и их конструкции во многом определяет эксплуатационные и экономические характеристики энергосилового установок. Анализ современных тенденций в их проектировании показывает на наличие большого числа технических решений в зависимости от размерности и характеристик выпускаемых ДВС. Однако, несмотря на многообразие технических решений, до настоящего времени не создана единая научно обоснованная методика расчета геометрических параметров перфорации внутренних элементов ГШ, что существенно усложняет их разработку, обуславливает бессистемное проектирование, сдерживает создание перспективных моделей на модульном принципе конструирования [1–6].

При разработке ГШ выпуска следует находить правильное соотношение необходимого шумоглушения и минимального противодействия. Для ДВС увеличение противодействия на 3–5 кПа приводит к потере проектной мощности двигателя на 2–3 %. При этом потери связаны не только с конструкцией ГШ, но и с типом двигателя (бензиновый, дизельный, с турбонаддувом). Влияние конструкции ГШ на противодействие представлено в таблице.

Противодействие зависит от ряда факторов, главными из которых являются гидравлическое сопротивление ГШ, режим работы двигателя и волновое сопротивление системы выпуска. В свою очередь гидравлическое сопротивление зависит от режима работы двигателя, поэтому оценку противодействия и связанного с ним снижения мощности принято относить к ее номинальному значению.

При расчете противодействия за основу берут расчетную схему проектируемого ГШ и учитывают падение давления на входной и выходной трубах ГШ, а также на трубах, соединяющих его камеры. Учитываются потери давления за счет трения и на местных сопротивлениях у срезов труб.

Противодействие рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta p = \frac{(K_{вх}^k + K_{вых}^k + \lambda_T l_T / d_T) \rho v^2}{2}, \quad (1)$$

где $K_{вх}^k$ и $K_{вых}^k$ – коэффициенты местного сопротивления на входе потока в трубу и на выходе из нее; λ_T – коэффициент трения потока газов о стенку трубы; $d_T = 4 S_T / F_T$ – гидравлический диаметр трубы (для трубы с круговым сечением $d_T = d_T$); l_T , d_T и F_T – длина, внутренний диаметр и внутренний периметр трубы, м; S_T – площадь проходного сечения трубы, м²; ρ – плотность газов в трубе, кг/м³; v – средняя скорость движения газов в трубе, м/с.

Влияние конструкции глушителя на противодавление

Глушитель и его элементы	Ориентировочная эффективность, дБ	Противодавление, %
Прямой трубопровод	0	100
Расширительная камера	4–6	130
Реактивно-резонансный глушитель	1–2	110
Элементы перфорации: с перегородкой	8–9	210
без перегородки	6–7	160

Если срезы соединительных труб располагаются в камерах, то для вычисления коэффициентов $K_{вх}^k$ и $K_{вых}^k$:

$$K_{вх}^k = (S_K / S_T - 1)^2; \quad (2)$$

$$K_{вых}^k = (1 - S_T / S_K)^2, \quad (3)$$

где S_K – площадь сечения камеры, м².

Для выходной трубы ГШ коэффициент местного сопротивления на выходе из нее при расчете принимается равным единице.

Коэффициент трения:

$$\lambda_T = \frac{1,01}{(\lg Re)^{2,5}} \text{ нпу} \quad 2 \cdot 10^3 < Re < 2 \cdot 10^5, \quad (4)$$

где Re – число Рейнольдса.

$$Re = v d_T \rho / \mu, \quad (5)$$

где μ – динамическая вязкость газов, Па·с.

Для труб ГШ выпуска ДВС рекомендуется принимать $\lambda_T \approx 0,02$.

Принимая массовый расход ОГ приблизительно равным массовому расходу G_M во входном отверстии системы впуска двигателя, рассчитывают вначале:

$$G_M \approx \rho_B V_{hДВС} f_1, \quad (6)$$

где ρ_B – плотность атмосферного воздуха при нормальных условиях $T=293\text{К}$ и $p_{ат}=101325\text{ Па}$, кг/м^3 ; $V_{hДВС}$ – рабочий объем двигателя, м^3 ; f_1 – основная частота газообмена, равная первой гармонической составляющей спектра шума выпуска, Гц.

$$f_1 = \frac{n}{30t}, \quad (7)$$

где n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} ;

t – тактность двигателя.

Дальнейшие вычисления параметров среды в ГШ начинают с его последнего элемента – выходной трубы ГШ, статическое давление в которой на первом этапе расчета принимают равным атмосферному.

Определяют плотность:

$$\rho = M_{см} p_c / (RT), \quad (8)$$

где $M_{см}$ – молярная масса смеси, кг/кмоль ; p_c – статическое давление в элементе ГШ, Па; R – универсальная газовая постоянная, $\text{Дж/(кмоль}\cdot\text{К)}$; T – температура газов в элементах выпускной системы, К.

Затем скорость газов в выходной трубе.

Определяется скорость звука в трубе:

$$v = G_M / (\rho S_T), \quad (9)$$

$$c = \sqrt{\frac{R\gamma T}{M_{см}}}, \quad (10)$$

где γ – показатель адиабаты ОГ.

Число Маха находят по формуле:

$$M = v / c \quad (11)$$

Далее определяют значения $K_{вх}$, $K_{вых}$, λ_T и Re соответственно по формулам (2), (3), (4) и (5). Задавшись геометрическими размерами трубы и последней камеры на основе расчетной схемы, вычисляют по формуле (1) падение давления на выходной трубе Δp_T и статическое давление в камере по формуле:

$$p_K = p_{AT} + \Delta p_T \quad (12)$$

Определив p_K , вычисляют параметры ρ и c по формулам в камере, а также ν и M по формулам в ее проточной части.

В зависимости от организации движения потока газов в камерах при входе и выходе их из трубы определяют $K_{вх}$ и $K_{вых}$ по соответствующим формулам. Определив Re и λ_T , находят по формуле падение давления на соединительной трубе Δp_T и статическое давление в предпоследней камере ГШ по формуле.

Таким образом, переходя от последующего элемента к предыдущему, вычисляют параметры среды в каждом элементе ГШ, необходимые для расчета коэффициентов их матриц передачи. Определив падение давления на каждом i -м элементе глушителя Δp_i (обычно на трубах и последовательно размещенных диссипативных элементов типа перфорированных перегородок), находят в первом приближении падение давления на ГШ или, иначе говоря, создаваемое им в выпускной системе противодействие.

Проводимые исследования опытных образцов ГШ показывают правильность проводимого расчета противодействия ГШ ДВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айрбабамян, С. А. Противодействие в глушителях шума выпуска автомобилей / С. А. Айрбабамян, Г.И. Калабухов // Технология, экономика и организация производства технических систем. – Москва: МГИУ, 2012. – С. 164–170.
2. 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.
3. Груданов, В. Я. Моделирование и оптимизация гидравлических и акустических характеристик глушителей шума поршневых двигателей на основе теории чисел / В. Я. Груданов, Г. И. Белохвостов, Л. Т. Ткачева // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 28–42.
4. Охрана труда / В. Н. Босак [и др.]. – Горки: БГСХА, 2022. – 288 с.
5. 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.
6. Улучшение гидравлических характеристик глушителей шума / М. В. Кунаш [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 294–296.