

К расчету глушителей аэродинамического шума

Студенты гр. 9,8 от Магало Е.В., Рубчевская Д.В., Скоробогатая А.А.
 Научные руководители: Белохвостов Г.И., Кунаш М.В.
 Белорусский государственный аграрный технический университет
 г. Минск

В современных условиях шум является одним из ведущих факторов загрязнения окружающей среды, связанный с ростом городов и развитием технологий. Воздействие шума на человека становится все более актуальной проблемой. Особое место занимает шум производственного происхождения, уровень которого существенно вырос. Воздействие повышенных уровней шума на работающих обусловлено все более широким применением высокопроизводительного оборудования, увеличением скорости технологических процессов при эксплуатации промышленного оборудования.

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

Для снижения аэродинамического шума (шума турбулентного перемешивания выхлопной струи с окружающей атмосферой) при работе компрессоров, пневмоустройств, турбореактивных, реактивных двигателей и т. д., основное внимание уделяется конструированию глушителей. Выбор того или иного типа глушителя определяется необходимым уровнем снижения шума, его спектром, мощностью источника, физическими свойствами материала: высоким звукопоглощением в требуемом диапазоне частот, малым объемным весом, экономичностью и т. д. Важно, чтобы глушители оказывали небольшое гидравлическое сопротивление. Цель, которую необходимо достигнуть при разработке глушителя, состоит в том, чтобы в определенных точках шум был допустим для людей и не мешал нормальному течению технологического процесса. Решение задачи включает следующие этапы:

- определение допустимого шума;
- расчет шума в точке наблюдения по известной акустической характеристике источника, шум которого необходимо снизить;
- определение необходимой акустической эффективности глушителя;
- выбор схемы глушителя и конструкции звукопоглощающих элементов;
- акустический и гидравлический расчеты глушителя. Снижение уровня мощности шума L_w в глушителе определяется по формуле:

$$L_w = L_w - [L]20 \lg r - \Delta L_a - 10 \lg \phi,$$

где L_w - уровень акустической мощности источника; $[L]$ - допустимый уровень шума; r - расстояние от установки до точки наблюдения; ϕ - фактор направленности; ΔL_a - затухание в атмосфере.

Допустимый уровень шума выбирается исходя из общего шумового фона местности, где расположен источник условий его работы и гигиенического норматива.

Акустическая характеристика источников определяется экспериментальным или расчетным путем.

Приблизительно расчет дозвуковой свободной газовой струи можно провести по следующей методике.

Суммарная звуковая мощность струи W определяется по формуле Лайтхилла:

$$W = k \frac{\rho_c^2 V_c^8}{\rho_0 c_0^5} D^2 \frac{I}{\left(\frac{T_0}{T_c} \cdot 0,6 + 0,4 \right)^2},$$

где k – коэффициент пропорциональности, равный $3 \cdot 10^{-5}$; ρ_c – плотность потока свободной струи, кг/м³; ρ_0 – плотность неподвижной среды (воздуха), кг/м³ ($\rho_0 \approx 1,23$); V_c – скорость потока, м/с; c_0 – скорость звука в неподвижном воздухе, м/с; D – диаметр сопла, м; T_0 – абсолютная температура окружающего воздуха, К; T_c – абсолютная температура струи, К.

Составляющие спектра звуковой мощности в 1/3-октавных полосах частот

$$L_{wi} = L_w + \Delta L_{wi},$$

где ΔL_{wi} – составляющие безразмерного спектра звуковой мощности.

При этом частота шума определяется по формуле:

$$Sh = \frac{fD}{V_c},$$

где Sh – число Струхаля; f – средняя частота 1/3-октавной полосы шума; D – диаметр сопла; V_c – скорость струи на выходе из сопла.

Уровень суммарного звукового давления L в точках, расположенных в дальнем поле на расстоянии r от выхлопа струи, определяется по формуле:

$$L = 10 \lg \frac{w}{w_0} \cdot \frac{I}{4\pi r^2} + 10 \lg \phi = L_w - 20 \lg r - \theta + (I + b) 10 \lg \phi,$$

где $\theta = \Pi_g B$ при излучении в сферу; $\theta = 8gB$ при излучении в полусферу,
 $B = 0,3 \frac{T_c - T_0}{T_0}$.

Фактор направленности Φ шума определяется по соответствующим кривым.

Уровни составляющих спектра звукового давления в 1/3-октавной полосе

$$Lg = L + \Delta L_i,$$

где $\Delta L_i = \gamma(Sh)$ – составляющие безразмерного спектра шума.

Уровень суммарного звукового давления вдоль границы струи определяется по формуле:

$$L = L_w + \frac{40}{\sqrt{P_c}} - 0,6 \frac{x}{D} - 20 \frac{a}{D}$$

где P_c – перепад давления в сопле; a – расстояние от границы струи, принимая полный угол ее раскрытия $2\alpha = 20^\circ$,

$$\begin{aligned} \text{а) } x/D > 4 & \quad Sh = \left(\frac{0,2}{x/D} \right)^{0,38} \\ \text{б) } x/D \geq 4 & \quad Sh = \left(\frac{1,8}{x/D} \right)^{1,45} \end{aligned}$$

Скорость истечения газа, V_c , м/с можно определить по формуле:

$$V_c = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{R}{\mu} T \left[I - \left(\frac{P}{P+P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]},$$

где $k = C_p / C_v$ – отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости газа при постоянном объеме; $R = 8,31 \cdot 10^7$ Дж/(кмоль·град) – универсальная

газовая постоянная; μ – молекулярный вес газа; T – абсолютная температура, К; P_0 – давление в среде, в которую вытекает струя, Па; P – избыточное давление газа в сопле перед истечением, Па.

При вычислении скорости истечения нужно иметь в виду, что для обычных сопел скорость истечения не может превышать критическую скорость:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \frac{R}{\mu} T}$$

равную скорости звука в истекающей газовой струе. Сверхзвуковая скорость истечения возможно лишь в соплах Лавалья.

Плотность газа в сопле перед истечением определяется по формуле:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{P + P_0}{P_0} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Критическая скорость для воздуха ($k = 1,4$; $\mu = 29$), истекающего из сопла в атмосферу, при нормальных атмосферных условиях $V_c = 312$ м/с достигается при избыточном (критическом) давлении $P_{кр} = 8,8 \cdot 10^4$ Па (0,9 атм). Поскольку в обычных технических устройствах избыточное давление в сопле, как правило, превышает указанное значение, то $v = 312$ м/с и звуковая мощность, излучаемая струей, зависит главным образом от плотности газа в сопле и его диаметра.

Исследованиями показано, что спектр шума струи является практически сплошным. Он в значительной мере зависит от расположения точки измерения. Высокочастотный шум создается участками струи, расположенными вблизи сопла, низкочастотный шум создается участками газового потока, находящимися ниже по течению струи. Звуковая мощность, излучаемая элементарным объемом, находящимся в начальном участке струи, незначительно зависит от расположения объема относительно среза сопла. В основном участке струи (при удалении от сопла) звуковая мощность элементарного объема струи резко падает приблизительно пропорционально седьмой степени расстояния от сопла. Звуковая мощность, излучаемая начальным участком струи, составляет около 50% всей звуковой мощности струи. Таким образом, основная доля шума излучается участками струи, находящимися на расстоянии шести диаметров струи от среза сопла. Это нужно учитывать при конструировании глушителя.

Список использованных источников

1. Рыбина, А. Л. Шум как физический фактор. Влияние на организм и профилактика на производстве / А. Л. Рыбина, И. П. Семенов // Охрана труда. Технологии безопасности. — 2021. — № 7. — С. 74—79.
2. Микулич, И. В. Профессиональная заболеваемость в 2021 году / А. Л. Микулич // Охрана труда. Технологии безопасности. — 2022. — № 4. — С. 21—27.
3. Иголкин, А. А. Разработка глушителей аэродинамического шума пневматических и газотранспортных систем / А. А. Иголкин. - Самара, 2015. — 31 с.
4. Яременко, С. А. Повышение эффективности глушителей аэродинамического шума систем вентиляции / С. А. Яременко. – Воронеж, 2008. – 17 с.
5. Богданов, А. Е. Глушители аэродинамического шума / Сост. А. Е. Богданов, Ю. В. Карпов. – Москва, 1979. – 19 с.