

УДК 504.05

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА ГАЗОВОГО ПОТОКА ПЕРФОРИРОВАННОЙ ПЛАСТИНОЙ

**Е. О. Котенко, Д. В. Полищук,
В. С. Полищук, В. С. Бахарев**

Кременчужський національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

Обоснован математический аппарат для расчета эффективности снижения уровня аэродинамического шума газового потока перфорированной пластиной – конструктивным элементом глушителя шума. В основу расчетов положена формула Ньютона, позволяющая определить силу трения между слоями газа. С использованием реальных параметров источника производственного шума и глушителя произведен выбор размеров отверстий перфорированной пластины. Произведен проверочный расчет, в результате которого зафиксировано снижение уровня аэродинамического шума газового потока сжатого до 5,5 атм на 17 дБ. При этом расчетная эффективность снижения уровня шума не учитывает снижение уровня шума в самом глушителе.

Ключевые слова: аэродинамический шум, глушитель, перфорированная пластина, газовый поток, эффективность.

РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ШУМУ ГАЗОВОГО ПОТОКУ ПЕРФОРОВАНОЮ МЕТАЛЕВОЮ ПЛАСТИНОЮ

**Є. О. Котенко, Д. В. Поліщук,
В. С. Поліщук, В. С. Бахарєв**

Кременчужський національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

Обґрунтовано математичний апарат для розрахунку ефективності зниження рівня аеродинамічного шуму газового потоку перфорованої пластиною – конструктивним елементом глушника шуму. В основу розрахунків покладена формула Ньютона, що дозволяє визначити силу тертя між шарами газу. З використанням реальних параметрів джерела виробничого шуму і глушника зроблений вибір розмірів отворів перфорованої пластины. Зроблено перевіряючий розрахунок, в результаті якого зафіксовано зниження рівня аеродинамічного шуму газового потоку стисненого до 5,5 атм на 17 дБ. При цьому розрахункова ефективність зниження рівня шуму не враховує зниження рівня шуму в самому глушнику.

Ключові слова: аеродинамічний шум, глушник, перфорована пластина, газовий потік, ефективність.

ВВЕДЕНИЕ. Из физических факторов загрязнения окружающей среды (шум, электромагнитное излучение, вибрация) наиболее часто встречаем именно шум. Источниками шума являются транспортные средства, промышленные и вентиляционные и компрессорные установки и др.

Шумовое воздействие на человека считается вредным, если оно превышает 40 дБ. Шум с уровнем интенсивности более 65 дБ приводит к угнетению ряда показателей естественного иммунитета. Шумовое влияние крупной урбосистемы сокращает человеческую жизнь на 8-12 лет [1].

Сочетанное действие на человека шума и транспортных газов усиливает негативное действие последних в 2,5-3 раза [2].

Если сравнить действие на организм человека постоянных и импульсных шумов, то более вредными оказываются импульсные шумы [3].

В промышленных условиях аэродинамический шум создают осевые и центробежные вентиляторы, компрессоры, исполнительные механизмы различного назначения, использующие, в основном, сжатый до 6 атм. воздух.

Эти источники шума могут ухудшать условия труда в случае их расположения в цехах предприятия или создавать шумовое загрязнение примыкающих к предприятию жилых кварталов.

Для уменьшения уровня аэродинамического шума применяются камерные, лабиринтные, экранные, резонансные глушители активного типа [4].

Как известно, аэродинамический шум возникает в следствии частичного перехода кинетической энергии струи в энергию звуковых волн [5]. Акустическую мощность газовой струи можно уменьшить в первую очередь путем изменения ее скорости, например, используя засыпку крупно или мелкодисперсного материала. При этом поток газа, проходя через поры засыпки, теряет свою энергию за счет противодействующих сил трения. Кроме того, при прохождении струи газа через пористую засыпку, на выходе образуются струи газа малого диаметра. Такой же эффект можно достичь при пропускании газовой струи через перфорированную пластину.

По результатам наших предыдущих исследований снижения уровня аэродинамического

шума центробежных вентиляторов, а также шума выхлопа сжатого до 5,5–6 атм. Воздуха после использования в исполнительных механизмах различных устройств соответственно на 3 и 18 дБ можно достичь путем пропускания газовой струи через перфорированную пластину [6]. При этом были использованы пластины с различным коэффициентом перфорации (0,4–0,6), различным диаметром отверстий (2–10 мм). Определено, что перфорация имеет ряд преимуществ перед глушителями, выполненными из перфорированной керамики и т.п., так как последние могут забиваться при эксплуатации [6].

Таким образом, целесообразно использовать эффект снижения уровня шума сжатого воздуха при прохождении мелкой засыпки глушителя, однако, учитывая сложность исполнения и последующей эксплуатации глушителей с мелкодисперсной загрузкой, предлагается использовать эффект перфорации выходного отверстия глушителя шума. При этом, закономерно, возникает вопрос об эффективности данного метода и возможности проведения математических расчетов предполагаемого изменения уровня аэродинамического шума газового потока.

Таким образом, целью данной работы является обоснование математического аппарата (метода) расчета эффективности снижения шума газового потока при пропускании через перфорированную пластину.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. На рис. 1 схематически показан глушитель шума газового потока с перфорированной пластиной. При проведении расчетов нами, учитывая реальные условия источника производственного шума и глушителя, были приняты такие параметры:

1. Диаметр трубы выхлопа – 35 мм.
2. диаметр глушителя – 150 мм.
3. Диаметр отверстий перфорированной пластины – 5 мм.
4. Количество отверстий перфорации – 400.

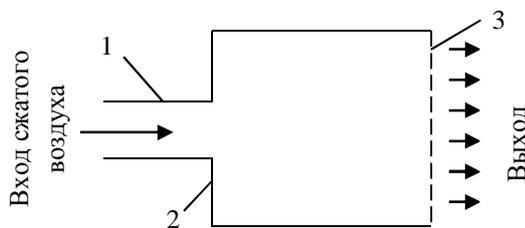


Рисунок 1 – Схема глушителя с перфорированной пластиной:

- 1 – выхлопная труба источника шума; 2 – глушитель; 3 – перфорированная пластина.

Как известно, динамический газовый поток, имеющий скорость отличную от статического, при

выходе из отверстия (например, круглого) приходит в соприкосновение со слоем неподвижного воздуха, что приводит к торможению поверхностных слоев потока и образованию тороидальных вихрей.

Закономерности движения газов после вылета из трубы (отверстия) одинаковы и состоят, как указывалось, в формировании тороидальных вихрей. Таким образом наша задача сводится к определению потери энергии газового потока при вылете из трубы диаметром 35 мм (без глушителя) и при прохождении через перфорированную пластину. Данную задачу можно решить применив в расчетах формулу Ньютона, позволяющую определить силу трения между слоями газа [6].

$$F = \tau \frac{\Delta V}{\Delta X} \Delta S \quad (1)$$

где F – сила трения между слоями газа, Н;

τ – коэффициент динамической вязкости;

$\frac{\Delta V}{\Delta X}$ – градиент скорости;

ΔS – площадь поверхности взаимодействия, м².

Потеря энергии газовой струи равна произведению силы трения на путь h , т.е. для газовой струи без глушителя:

$$A_1 = F_1 \cdot h, \quad (2)$$

а для струи после прохождения через перфорированную пластину:

$$A_2 = F_2 \cdot h \quad (3)$$

Отношение потерянной энергии $\frac{A_2}{A_1}$ указывает на эффективность данного способа, т.е.

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{F_2 h}{F_1 h} = \frac{\tau \frac{\Delta V_2}{\Delta X_2} \Delta S_2}{\tau \frac{\Delta V_1}{\Delta X_1} \Delta S_1} = \frac{\Delta V_2 \Delta X_1 \Delta S_2}{\Delta V_1 \Delta X_2 \Delta S_1} \quad (4)$$

В формуле (4) можно принять, что $\Delta V_1 = V$, а $\Delta V_2 = V_2$, поскольку речь идет о разности между скоростью газа и неподвижным воздухом соответственно для трубы диаметром 35 мм и для струек газа диаметром 5 мм.

Скорость газа максимальная посередине трубы (струи), поэтому можно записать, что $\Delta X_1 = R = 17,5$ мм, а $\Delta X_2 = r = 2,5$ мм где R и r соответственно радиусы трубы и струйки.

Площади контакта слоев газа при прохождении трубы диаметром 35 мм равна:

$$\Delta S_1 = S_1 = 2\pi R h = 2 \cdot 3,14 \cdot 17,5 \cdot 10^{-3} \cdot h = 11,0 \cdot 10^{-3} h (\text{м}^2)$$

Для единичной струйки диаметром 5 мм площадь контакта равна:

$$\Delta S_2 = 2\pi r h = 2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} h = 15,5 \cdot 10^{-3} h (\text{м}^2)$$

Учитывая, что число отверстий равно 400, суммарная площадь контакта равна:

$$\sum \Delta S_2 = 400 \cdot 15,5 \cdot 10^{-3} h = 6280 \cdot 10^{-3} \\ = 6,28h \text{ (м}^2\text{)}$$

Найдем скорость потока газа после вылета из трубы, при давлении 5,5 атм.

(5,57 · 10⁵ Па). Это можно сделать из равенств статического и динамического давлений:

$$\frac{V_1^2}{2} = p \Rightarrow V_1 = \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \quad (5)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³. $\rho = 1,29$ кг/м³; $p = 5,57 \cdot 10^5$ Па;

V_1 – скорость газа м/с;

S – статическое давление, Па;

Тогда,

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,57 \cdot 10^5}{1,29}} = \sqrt{8,6 \cdot 10^5} = 9,3 \cdot 10^2 \text{ м/с.}$$

Скорость движения газового потока после вылета из отверстий перфорированной пластины можно найти из уравнения неразрывности струи.

$$S_1 V_1 = S_2 V_2 = V_2 = \frac{S_1 V_1}{S_2} \quad (6)$$

где S_1 и S_2 – соответственно площадь сечения трубы диаметром 35 мм и суммарная площадь 400 отверстий диаметром 5 мм.

V_1 и V_2 – соответственно скорость газа в трубе и отверстиях.

Расчитаем:

$$S_1 = \pi R^2 = 3,14 (17,5 \cdot 10^{-3})^2 = 3,14 \cdot 3,06 \cdot 10^{-4} = 9,6 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)},$$

$$S_2 = \pi r^2 \cdot 400 = 3,14 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 400 = 78,56 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}..$$

Из формулы (3) находим скорость движения газа в отверстиях пластины:

$$V_2 = \frac{S_1 V_1}{S_2} = \frac{9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 9,3 \cdot 10^2}{78,58 \cdot 10^{-4}} = \frac{89,3 \cdot 10^{-2}}{78,58 \cdot 10^{-4}} \\ = 1,14 \cdot 10^2 \text{ м/с}$$

$$\text{Тогда, } \frac{A_2}{A_1} = \frac{\Delta V_2 \cdot \Delta X_1 \cdot \Delta S_2}{\Delta V_1 \cdot \Delta X_2 \cdot \Delta S_1} = \frac{1,14 \cdot 10^2 \cdot 17,5 \cdot 10^{-3} \cdot 6,28}{9,3 \cdot 10^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 11 \cdot 10^{-2}} = \frac{12,73}{0,256} = 47,9.$$

Перфорированная пластина создает местное сопротивление с коэффициентом $K = 2,5-3,9$ (при коэффициенте перфорации 0,8 [7]). Пластина, предложенная для расчетов нами, имеет коэффициент перфорации $K=0,5$, поэтому

отношение $\frac{A_2}{A_1}$ можно увеличить до 55.

Тогда эффективность применения перфорированной пластины будет равна:

$$L = 10 \lg 55 = 10 \cdot 1,74 = 17,4 \text{ дБ,}$$

что хорошо коррелирует с результатами замеров уровня шума, полученными при использовании шумомера в реальных условиях (18 дБ) [6].

ВЫВОДЫ. Научно обоснован и расчетным путем подтвержден математический метод для расчета эффективности снижения уровня аэродинамического шума газового потока перфорированной пластиной. В основу расчетов положена формула Ньютона, позволяющая определить силу трения между слоями газа. Использование данного метода позволит расчетным путем производить подбор конструктивных параметров эффективных глушителей аэродинамического шума, использующих перфорированные пластины. Проверочным расчётом зафиксировано снижение уровня аэродинамического шума газового потока сжатого до 5,5 атм. на 17 дБ. При этом расчетная эффективность снижения уровня шума не учитывала снижение уровня шума в самом глушителе.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание универсального математического аппарата для определения параметров глушителей производственного аэродинамического шума при условиях использования перфорации стенок глушителя, футеровки их внутренней поверхности и других конструктивных особенностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявий В.П. Урбоекологія. Т.1 – Львів.: Світ, 1999. – С. 359–360.
2. Штеренгарц Р.Я. О сочетанном действии транспортных газов и шума // Гигиена труда и профзаболевания, 1984. – №5 – С. 40-42.
3. Борьба с шумом на производстве. Справочник под общей редакцией д.т.н., проф. Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 393с.
4. Трофимова Т.Н. Курс физики / Т.Н. Трофимова – М.: Высшая школа, 1998. – 542с.
5. Лунин А.Г., Кузнецов В.М., Леонтьев Е.А. Аэродинамические источники шума. – М.: Высшая школа, 1981. – 160 с.
6. Котенко О.О. Дослідження характеристик глушника аеродинамічного шуму відцентрових вентиляторів // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ, 2011. – № 1(31). – С.139–140.
7. Мекслер В.Я., Овчинников П.А., Агафонов Е.П. Вентиляция и кондиционирование воздуха на машиностроительных заводах. Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 335 с.

CALCULATION OF THE EFFICIENCY OF NOISE REDUCTION GAS STREAM PERFORATED PLATE

E. Kotenko, D. Polishchuk,

V. Polishchuk, V. Bakharev

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

Justified mathematical method for calculating the efficiency of reducing aerodynamic noise of the gas stream with the use a perforated plate - structural member the muffler. These calculations are based on a formula of Newton, which allows to determine the force of friction between the layers of gas. With the use of real parameters of the source of industrial noise and muffler made a choice of aperture size perforated plate. By checking calculation, in which registered a decline in the level of aerodynamic noise of the gas stream compressed to 5.5 atm on 17 dB. In this case, the calculation efficiency of noise reduction does not account noise reduction in the muffler.

Key words: aerodynamic noise, muffler, perforated plate, the gas flow, efficiency.

1. B. Kucheryaviy. Urboekologiya. V.1 – Lviv: Svet, 1999. – P. 359-360. [in Ukrainian]

2. R. Shterengarts. On the combined action of transport emissions and noise // Hygiene and Occupational Diseases, 1984. - № 5 - P.40-42. [in Russian]

3. Control of noise at work. Handbook, edited by E. Yudin. - M.: Mechanical Engineering, 1985. – 393p. [in Russian]

4. T. Trofimov. Physics course. - M.: Higher School, 1998. – 542 p. [in Russian]

5. A. Lunin, V. Kuznetsov, V. Leontiev. Aero-dynamic noise sources. – M.: Higher School, 1981. – 160 p. [in Russian]

6. O. Kotenko. Investigation of aerodynamic characteristics of the muffler noise centrifugal fans // New Technology. Scientific Bulletin KUEITU, 2011. – № 1 (31). – P.139–140. [in Ukrainian]

7. B. Meksler, P. Ovchinnikov, E. Agafonov. Ventilation and air-conditioning machine-building plants. Handbook. - M.: Mechanical Engineering, 1980. – 335 p. [in Russian]

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. Шмандієм В.М.