УДК 629.21

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗОНАНСНОГО (ПЕРФОРИРОВАННОГО) ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМА

Бердников Л.А., Шишкин Д.А., Пачурин Г.В.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: berdnikov 51@ bk.ru

В статье приведены исследования эффективности снижения шума энергетических установок с помощью глушителей. Актуальные расчетные исследования могут быть использованы при конструировании глушителей шума с целью нахождения оптимального решения исходя из степени снижения уровня шума, компоновочных и экономических соображений. В статье представлены аналитические выражения, позволяющие количественно оценить ключевые величины изучаемого вопроса. В качестве факторов, влияющих на способность уменьшать энергию звуковых волн, выбраны геометрические параметры перфорации стенок в глушителе, а также объем резонансной камеры. Авторы приводят сравнительные результаты исследований эффективности глушителя в зависимости от относительного шага и диаметра отверстий перфорации, а также от объема резонансной камеры. В заключении приводятся обобщающие выводы по результатам расчетов и краткий анализ физической природы выявленных закономерностей. Установлено, что с увеличением объема камеры глушителя возрастают его габариты и масса. Оптимальное решение этого конструктивного противоречия можно найти на основе тщательного технико-экономического анализа.

Ключевые слова: энергетические установки, глушитель шума, звук, резонансная камера, уровень шума, геометрические параметры, акустическая проводимость

SETTEMENT RESEARCHES OF INFLUENCE OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE RESONANT (PUNCHED) NOISE MUFFLER ON EFFICIENCY OF DECREASE IN NOISE LEVEL

Berdnikov L.A., Shishkin D.A., Pachurin G.V.

FGBOU VPO Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: berdnikov 51@ bk.ru

The paper presents the research on the effectiveness of noise reduction of power plants using mufflers. Recent computational studies can be used in the construction of silencers in order to find the optimal solution on the basis of the degree of noise reduction, layout and economic considerations. The paper presents analytical expressions to quantify the key values of the studied subject. The factors that affect the ability to reduce the energy of the sound waves, selected geometrical parameters of the perforations in the walls of the muffler, and the amount of resonance chamber. The authors provide comparative results of studies of the effectiveness of the muffler according to the relative pitch and diameter of the perforations as well as the volume of the resonance chamber. The final section summarizing the conclusions of the calculations and a brief analysis of the physical nature of the revealed laws. It was found that an increase in volume of the chamber muffler increase its size and weight. The optimal solution of this structural contradictions can be found on the basis of thorough feasibility analysis.

Keywords: powerplant, muffler, sound, resonance chamber, noise, geometric parameters, acoustic performance

Вредное воздействие шума на здоровье людей известно и изучается давно [3, 8, 9]. Энерговооруженность транспортных и стационарных энергетических установок со временем неуклонно возрастает [7], что приводит к повышению уровня шума в местах их расположения [5, 8]. Увеличение автобусов и автомобилей в общем количестве транспортных средств [4] приводит к росту шума в городах и крупных населенных пунктах, при этом главным его источником являются двигатели внутреннего сгорания [8]. Шум отрицательно влияет на организм человека, приводит к возникновению профессиональных заболеваний и, в итоге, снижает продолжительность жизни человека.

Перфорированные (резонансные) глушители шума нашли широкое применение в энергетических установках [1, 2]. Перфорированные поверхности позволяют снизить уровень шума [10]. На эффективность снижения шума влияют геометрические параметры перфорации, например, относительный шаг расположения отверстий, диаметр отверстий, объем резонансной камеры и др.

Однако в литературе практически отсутствуют сведения о проведении системных исследований влияния названных параметров на уровень шума при работе энергетических установок, как стационарных, так и транспортных, в том числе и автомобильных. В данной статье приведены результаты расчетных исследований уровней шума в зависимости от некоторых указанных выше параметров, которые будут полезны при проектировании глушителей шума.

Снижение уровня шума в перфорированном глушителе определяется выражением

$$\Delta L = 10\lg\left[1+\left(\frac{\sqrt{C_0 V/2S_{тр}}}{\bar{f}-\frac{1}{\bar{f}}}\right)^2\right] \text{ дБ}, \quad (1)$$

где C_0 – акустическая проводимость отверстий; V – объем резонансной камеры; $\bar{f}-\frac{f}{f}$ – безразмерная частота; f – частота в третьоктавной полосе частот, Гц.

Акустическая проводимость отверстий, в свою очередь, определяется формулой

$$C_0 = \frac{0{,}785 d_{отв}^2 n_0}{h + 0{,}785\frac{d}{j}}, \quad (2)$$

где $d_{отв}$ – диаметр отверстия; n_0 – число отверстий; h – толщина стенки трубки; j – функция, зависящая от относительного шага расположения отверстий (определяется опытным путем (табл. 1).

Таблица 1

Значения параметров отверстий

$\bar{t}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
j	1,72	2,18	4,00	9,45	∞

В расчетах принимаются следующие значения параметров:

- $\bar{t}$ – относительный шаг отверстий; расход газа G = 1 кг/сек;
- температура газа $t_г$ = 400 °C;
- диаметр отверстий в диапазоне 2–10 мм;
- толщина стенки трубы h = 2–3 мм; относительная частота $\bar{f}$ = 1,2–2,4.

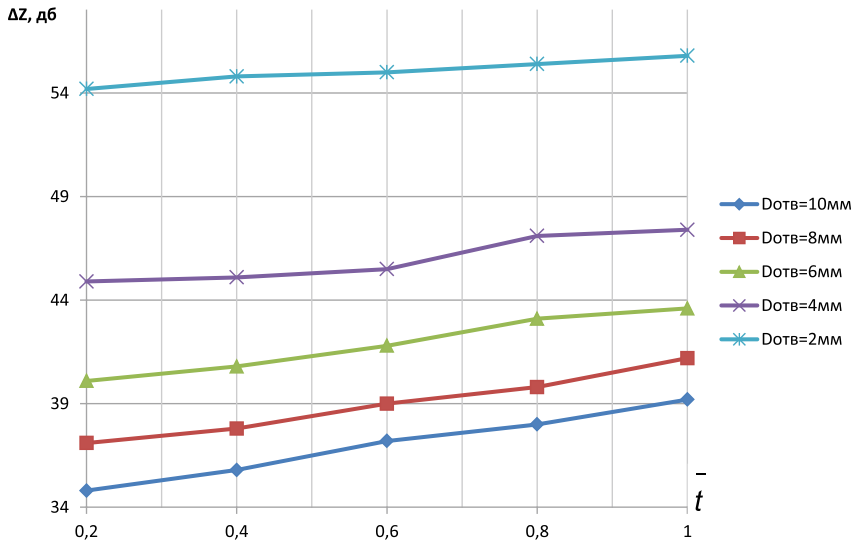
По результатам расчетов построены графики зависимостей уровня снижения шума от геометрических параметров перфорации (рисунок).

Анализ графиков (рисунок) показывает, что с уменьшением диаметра отверстий $d_{отв}$ при фиксированном относительном шаге $\bar{t} = d_{отв}/t$ эффективность действия перфорированного глушителя шума повышается. Особенно это заметно в области малых диаметров отверстий: уменьшение диаметра отверстий в два раза – от 4 мм до 2 мм – приводит к понижению уровня шума порядка 35% относительно его значений во всем исследованном диапазоне диаметров отверстий от 10 мм до 2 мм.

Так как на одной и той же площади поверхности размещается большее количество отверстий по мере уменьшения их диаметра, то с увеличением числа отверстий возрастает их акустическая проницаемость (2) и, как следствие, повышается эффективность снижения уровня шума перфорированным глушителем. С увеличением относительного шага $\bar{t}$ эффективность такого глушителя также повышается. Эта закономерность сохраняется почти при всех исследуемых диаметрах отверстий (рисунок).

Расчеты и анализ (табл. 2) показывают, что с увеличением объема резонансной камеры глушителя эффективность снижения уровня шума возрастает при всех значениях относительной частоты $\bar{f}$.

Через отверстия в стенке трубы звуковая волна проникает в камеру глушителя, где происходит реверберация звука, при этом энергия звуковой волны уменьшается и, в итоге, понижается уровень шума.



Влияние геометрических параметров перфорации на уровень снижения шума

Таблица 2

Результаты расчетов влияния объема резонансной камеры на уровень шума при различных значениях относительной частоты $\bar{f}$

	4	6	8	10	12	14
$\bar{f}$ = 0,015	1,511	2,122	2,832	3,687	4,736	6,036
$\bar{f}$ = 0,024	0,944	1,326	1,769	2,304	2,959	3,771
$\bar{f}$ = 0,030	0,755	1,060	1,415	1,842	2,366	3,016
$\bar{f}$ = 0,037	0,604	0,848	1,131	1,473	1,892	2,412
$\bar{f}$ = 0,074	0,301	0,422	0,563	0,734	0,942	1,201
$\bar{f}$ = 0,149	0,148	0,208	0,277	0,361	0,463	0,590
$\bar{f}$ = 0,238	0,089	0,125	0,167	0,217	0,279	0,356
$\bar{f}$ = 0,298	0,069	0,097	0,129	0,168	0,216	0,275
$\bar{f}$ = 0,596	0,024	0,034	0,046	0,059	0,076	0,097

Наличие отверстий в стенке трубы также приводит к турбулизации пограничного слоя газового потока. В сильно турбулизованном пограничном слое рассеивается энергия звуковой волны, которая падает на внутреннюю поверхность камеры глушителя [6].

Заключение

В заключение следует отметить, что с увеличением объема камеры глушителя возрастают его габариты и масса. Оптимальное решение этого конструктивного противоречия можно найти на основе тщательного технико-экономического анализа.

Список литературы

1. Жаров Г.Г. Теоретические основы проектирования и эксплуатации корабельных газотурбинных установок / Г.Г. Жаров. – Л: Судостроение, 1979. – 588 с.
2. Клюкин И.И. Борьба с шумом и вибрацией на судах / И.И. Клюкин – Л: Судостоение, 1975. – 403 с.
3. Кузьмин Н.А. Разработка научных основ обеспечения работоспособности теплонагруженных деталей автомобильных двигателей / диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Нижегородский государственный технический университет. – Нижний Новгород, 2006.
4. Кузьмин Н.А., Плеханов Д.К., Пачурин Г.В. Математическая модель транспортного плеча при массовых автомобильных перевозках грузов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–3. – С. 530–535.
5. Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Солнцев Е.Б., Петров А.А. Шумовое загрязнение окружающей природной среды мини-ТЭЦ // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 2). – С. 291–294.
6. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Часть 2 / А.С. Монин, А.М. Яглом – М: Наука, 1967. – 559 с.
7. Плеханов Д.К., Кузьмин Н.А. Стратегии диспетчерского управления работой грузовых автомобилей при массовых перевозках // Автотранспортное предприятие. – 2009. – № 12. – С. 40–41.
8. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В., Филатов Д.А. Акустическое воздействие мини-ТЭЦ с газопоршневыми и дизельными двигателями на окружающую среду // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 4. – С. 126–128.
9. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В. Акустическое воздействие ветроэнергетических установок на окружающую среду // Экология и промышленность России. – 2013. – № 9. – С. 8–11.
10. Царикаев В.К. Способ снижения шума выхлопа двигателя внутреннего сгорания / В.К. Царикаев // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 5. – С. 42.

Rreferences

1. Zharov G.G. Teoreticheskie osnovy proektirovanija i jekspluatacii korabel'nyh gazoturbinnyh ustanovok / G.G. Zharov. L: Sudostroenie, 1979. 588 p.
2. Kljukin I.I. Bor'ba s shumom i vibraciej na sudah / I.I. Kljukin. L: Sudostoenie, 1975. 403 p.
3. Kuz'min N.A. Razrabotka nauchnyh osnov obespechenija rabotosposobnosti teplonagruzhennyh detalej avtomobil'nyh dvigatelej / dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnicheskih nauk / Nizhegorodskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet. Nizhnij Novgorod, 2006.
4. Kuzmin N.A., Plehanov D.K., Pachurin G.V. Matematicheskaja model' transportnogo plecha pri massovyh avtomobil'nyh perevozkah gruzov // Fundamental'nye issledovanija. 2014. no. 9–3. pp. 530–535.
5. Masleeva O.V., Pachurin G.V., Solncev E.B., Petrov A.A. Shumovoe zagrjaznenie okruzhajushhej prirodnoj sredy mini-TJeC // Fundamental'nye issledovanija. 2013. no. 8 (chast' 2). pp. 291–294.
6. Monin A.S., Jaglom A.M. Statisticheskaja gidromehanika. Chast' 2 / A.S. Monin, A.M. Jaglom M: Nauka, 1967. 559 p.
7. Plehanov D.K., Kuz'min N.A. Strategii dispetcherskogo upravlenija rabotoj gruzovyh avtomobilej pri massovyh perevozkah // Avtotransportnoe predprijatie. 2009. no. 12. pp. 40–41.
8. Sosnina E.N., Masleeva O.V., Pachurin G.V., Filatov D.A. Akusticheskoe vozdejstvie mini-TJeC s gazoporshnevymi i dizel'nymi dvigateljami na okruzhajushhuju sredu // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2013. no. 4. pp. 126–128.
9. Sosnina E.N., Masleeva O.V., Pachurin G.V. Akusticheskoe vozdejstvie vetrojenergeticheskih ustanovok na okruzhajushhuju sredu // Jekologija i promyshlennost' Rossii. 2013. no. 9. pp. 8–11.
10. Carikaev V.K. Sposob snizhenija shuma vyhlopa dvigatelja vnutrennego sgoranija / V.K. Carikaev // Avtotransportnoe predprijatie. 2014. no. 5. p. 42.

Рецензенты:

Кузьмин Н.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;

Панов А.Ю., д.т.н., профессор, директор ИПТМ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 19.02.2015.