

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВЫХЛОПА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА БЕЗМОТОРНОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ СТЕНДЕ

Е.А. Суховая

sukhovay-ekaterina@yandex.ru

Д.А. Теляшов

assaulttelov@mail.ru

Г.И. Павлов

pavlov16@mail.ru

П.В. Накоряков

nakorjakov@mail.ru

М.А. Никитин

akustika2014k@mail.ru

Казанский научно-исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Республика Татарстан,  
Российская Федерация

---

### Аннотация

В настоящее время отмечается высокий рост производства воздушных транспортных средств, оснащенных двигателями внутреннего сгорания малой мощности. Основным демаскирующим фактором таких двигателей является высокий шум их выхлопной системы. Для решения данной проблемы создан испытательный стенд, на котором оценивалась эффективность нескольких вариантов глушителей. В процессе работы изучено влияние различных внутренних элементов глушителя шума на его гидродинамическое сопротивление и шумоглушение. По полученным результатам выявлен наилучший вариант конструкции глушителя

### Ключевые слова

*Двигатель внутреннего сгорания малой мощности, выхлопная система двигателя, глушитель шума, безмоторный испытательный стенд, слабые ударные волны в воздушной среде, гидродинамическое сопротивление, эффективность шумоглушения*

Поступила 25.02.2019

© Автор(ы), 2019

---

**Введение.** За последние два десятка лет резко возросло количество беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в которых в качестве силового агрегата применяются поршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) малой мощности. В перспективе рынок использования двигателей такого типа существенно расширится. В связи с этим их модернизация, улучшение эксплуатационных характеристик, сервисное обслуживание становятся актуальными вопросами.

Одним из негативных факторов при эксплуатации данных двигателей является повышенный шум, который создается их выхлопной системой. Шум поршневого ДВС является сложным: по механизму образования делится на аэродинамический и структурный. Его звуковое поле формиру-

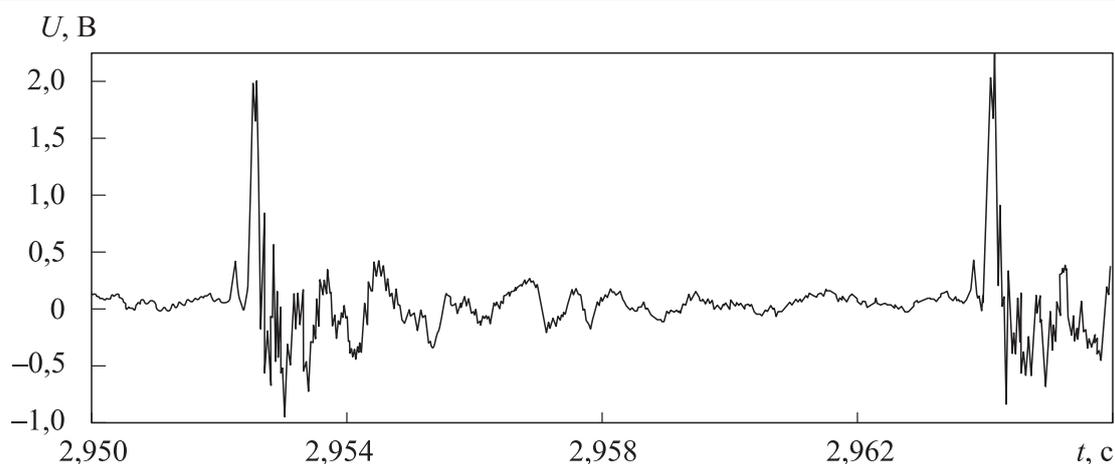
ется совокупностью акустических излучений нескольких независимых источников. Аэродинамический шум по своему уровню значительно превышает структурный и возникает в результате газообмена двигателя с окружающей средой при впуске и выпуске. Структурный шум излучается наружными поверхностями деталей двигателя при их вибрации [1]. Интенсивность этого шума достаточно легко можно снизить простыми техническими решениями.

Наиболее проблемным является аэродинамический шум выхлопной системы. Исследованию механизма образования этого шума и его основных характеристик посвящено достаточное число работ [2–7]. В основном эти работы посвящены ДВС автомобильного транспорта и носят эмпирический характер. Это связано со сложностью математического описания явлений, происходящих в выхлопной системе ДВС. В плане изученности этих явлений проблемными являются системы выпуска ДВС малой мощности. По исследованию шума выхлопа ДВС малой мощности работы крайне редки.

Результаты исследований авторов статьи свидетельствуют о том, что процессы, происходящие в тракте движения выхлопных газов ДВС малой мощности, имеют свои особенности. И их следует учесть при создании искрогасителей и глушителей шума. Для оценки эффективности работы разрабатываемых глушителей и исследования влияния тех или иных конструктивных элементов глушителя на эффект глушения шума часто необходимы специальные стенды. Анализ научно-технической литературы показал, что на сегодняшний день такие стенды промышленностью не выпускаются [8–11]. Поэтому работы, проводимые в этом направлении, являются важными.

Целью настоящей работы являются разработка безмоторного испытательного стенда и проведение научных исследований по оценке технических характеристик систем выхлопа ДВС малой мощности БПЛА разных конструкций.

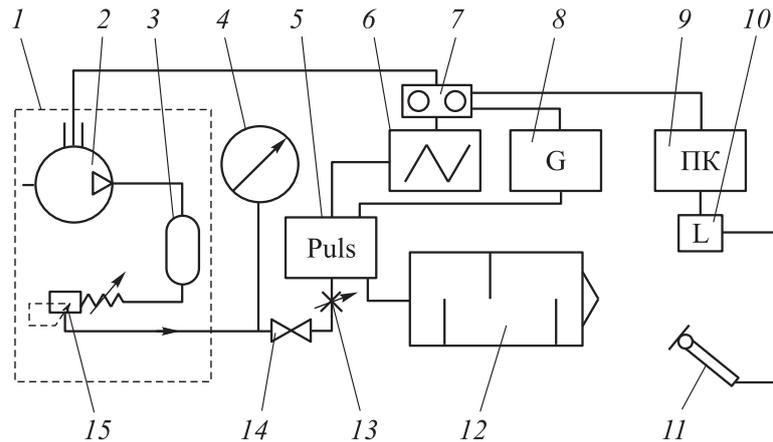
Объект исследования — это выхлопная система ДВС малой мощности БПЛА с выхлопным коллектором без устройства шумоглушения. Тип двигателя — поршневой одноцилиндровый двухтактный ДВС марки ZDZ-80 с рабочим объемом цилиндра  $80 \text{ см}^3$ . Форма акустического сигнала, записанного в зоне истечения выхлопных газов на крейсерской частоте вращения 5000 об/мин, приведена на рис. 1. Видно, что акустический сигнал — негармонический, имеет пилообразную форму. Это свидетельствует о возникновении на выходе ДВС малой мощности слабых ударных волн [12].



**Рис. 1.** Акустический сигнал, записанный в зоне истечения выхлопных газов ДВС малой мощности БПЛА при частоте вращения вала двигателя 5000 об/мин

**Безмоторный испытательный стенд для исследования характеристик выхлопной системы ДВС малой мощности.** Безмоторный испытательный стенд (БИС) представляет собой техническое устройство, основными элементами которого являются компрессор с ресивером, редуктор и пульсатор [12]. Данное устройство с присоединенным выхлопным коллектором ДВС марки ZDZ-80 моделирует объект исследования. Требуемый уровень звукового давления, соответствующий уровню звукового давления на выходе исследуемого ДВС, достигается изменением давления в ресивере, расхода воздуха (изменением проходного сечения газового тракта), частоты колебаний (изменением числа оборотов пульсатора). Далее объектом исследования является выхлопной коллектор, прикрепленный к безмоторному испытательному стенду. Он позволяет моделировать основные физические процессы, происходящие в системе выхлопа ДВС малой мощности.

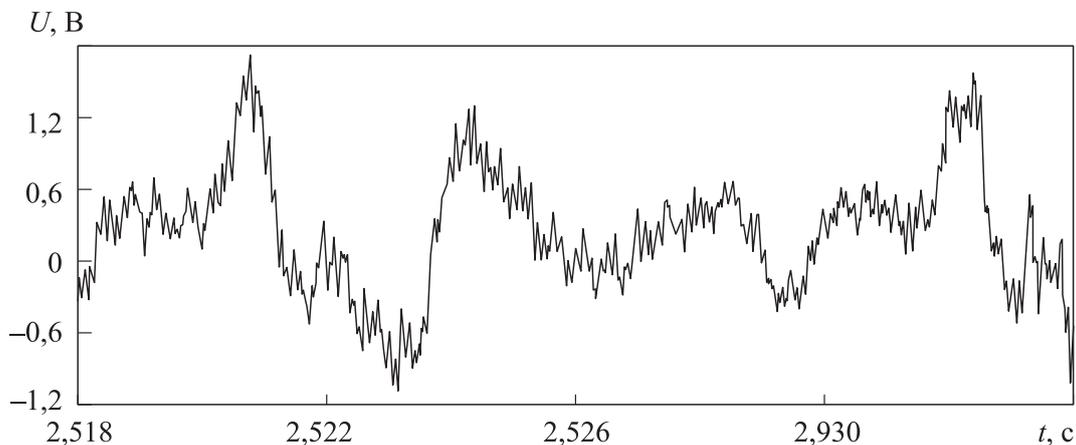
Схема стенда приведена на рис. 2. Принцип действия БИС заключается в следующем. Для генерации слабых ударных волн в воздушной струе с помощью компрессора формируется высоконапорный воздушный поток, который прерывается пульсатором. Перечисленные устройства располагаются в звукоизолированной камере, из которой наружу через боковую стенку выведен выходной патрубок БИС. К выходному патрубку присоединяется исследуемая модель глушителя шума. В ходе экспериментов на выходе из глушителя регистрировалось его гидродинамическое сопротивление, а в зоне истечения газов — уровень звука. Для измерения указанных параметров использовали U-образный манометр и измерительный комплекс «Экофизика 110А» с программным обеспечением «Signal+».



**Рис. 2.** Схема безмоторного испытательного стенда:

1 — звукоизолированная камера; 2 — компрессор; 3 — ресивер; 4 — манометр; 5 — генератор пульсаций (пульсатор); 6 — осциллограф; 7 — пульт управления; 8 — частотный преобразователь; 9 — персональный компьютер; 10 — шумомер; 11 — микрофон; 12 — глушитель шума; 13 — диафрагма; 14 — вентиль; 15 — редуктор

Характер акустического сигнала воздушной струи БИС (рис. 3), записанный на частоте 5160 об/мин при давлении воздуха в ресивере 4 атм и расходе  $1,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ , совпадает с характером сигнала работающего ДВС (см. рис. 1). Это дает основание полагать, что БИС можно использовать в качестве устройства, с помощью которого возможно моделирование акустических процессов на выходе системы выхлопа ДВС малой мощности.



**Рис. 3.** Акустический сигнал воздушной струи БИС на частоте 5160 об/мин

### Описание алгоритма исследования характеристик глушителей шума.

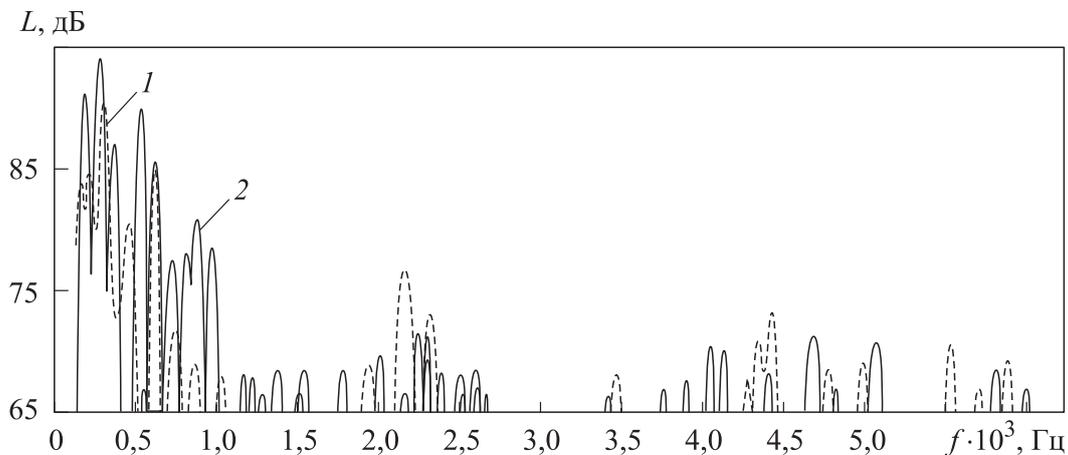
Методика испытаний характеристик глушителя заключается в следующем.

1. Определение акустических характеристик пульсирующей струи воздуха на выходе из БИС на разных режимах работы.

2. Определение акустических характеристик глушителей шума на тех же режимах.

3. Сравнение уровней звука, полученных без глушителя и с глушителем.
4. Определение методом анализа частотных спектров эффективности шумоглушения конструкцией исследуемого глушителя шума.
5. Определение гидродинамического сопротивления глушителей шума.

При исследовании характеристик глушителей шума ДВС малой мощности на начальном этапе работы получены частотные спектры акустических сигналов, записанных в зоне выхлопа пульсирующей воздушной струи из БИС без глушителя шума (рис. 4). Измерения проводили на двух режимах работы пульсатора — 42 и 87 Гц, что соответствовало частоте вращения коленчатого вала ДВС малой мощности 2500 и 5200 об/мин.



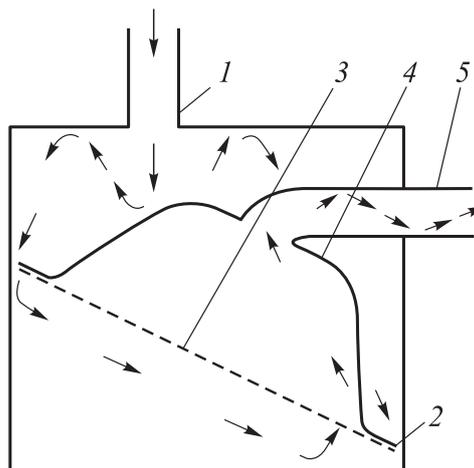
**Рис. 4.** Частотные спектры акустических сигналов в зоне выхлопа воздушной струи при 2500 (1) и 5200 (2) об/мин

Из рис. 4 следует, что все «энергонесущие» частоты в полученных спектрах кратны заданным частотам пульсатора. На основании этого можно сделать вывод, что предложенный метод позволяет моделировать акустические процессы в системе выхлопа ДВС малой мощности.

В составе ДВС малой мощности в основном используются глушители, конструктивные схемы и характеристики которых приведены в работах [13, 14]. Показано, что наиболее эффективным является глушитель реактивного типа цилиндрической формы. В цилиндрическом корпусе глушителя расположена полуэллипсоидная вставка с 6%-ной перфорированной перегородкой. Схема такого глушителя приведена на рис. 5.

На разработанном безмоторном стенде детально исследовали влияние степени перфорации внутренней перегородки глушителя и объема полуэллипсоидной вставки на его газодинамическое сопротивление и шумоглушение. Степень перфорации перегородки варьировалась и составляла 3, 6 и 9 %. Объем ( $V$ ) полуэллипсоидной вставки менялся в следующих пределах: 0 (глушитель с плоской перегородкой); 389 (с малой

**Рис. 5.** Схема глушителя с перфорированной перегородкой и полуэллипсовидной вставкой:  
 1 — входной патрубок; 2 — кольцевой зазор; 3 — перфорированная перегородка; 4 — полуэллипсовидная вставка; 5 — выходной патрубок



полуэллипсовидной вставкой), 407 (с средней полуэллипсовидной вставкой) и 664 см<sup>3</sup> (с большой полуэллипсовидной вставкой). Испытания проводились на двух режимах — 2500 и 5200 об/мин. Результаты испытаний приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

**Газодинамическое сопротивление исследуемых глушителей**

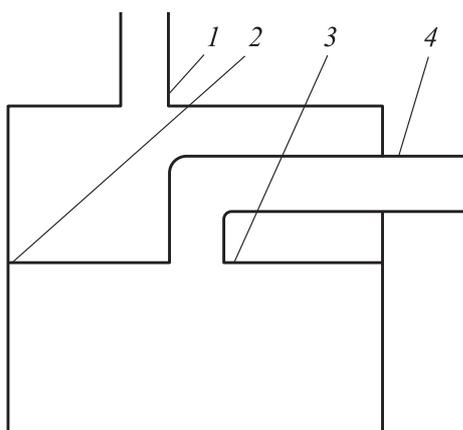
Газодинамическое сопротивление глушителя шума $\Delta p$ , Па		$\omega$ , об/мин	
		2500	5200
С перфорированной перегородкой 6 % и большой полуэллипсовидной вставкой		1618,1	2353,5
С перфорированной перегородкой	3 %	1078,7	1176,8
	6 %	833,5	882,6
	9 %	490,3	539,4
С полуэллипсовидной вставкой	малой	117,7	166,7
	средней	686,5	735,5
	большой	735,5	784,5
С плоской перегородкой		294,2	343,2

Таблица 2

**Уровни звука выхлопной системы БИС при разных режимах работы**

Уровень звука глушителя шума $L$ , дБ		$\omega$ , об/мин	
		2500	5200
С перфорированной перегородкой 6 % и большой полуэллипсовидной вставкой		85,8	84,2
С перфорированной перегородкой	3 %	84,7	84,9
	6 %	82,7	84,1
	9 %	84,0	85,3

Уровень звука глушителя шума $L$ , дБ		$\omega$ , об/мин	
		2500	2500
С полуэллипсовидной вставкой	малой	80,1	79,9
	средней	79,0	80,7
	большой	79,0	79,3
С плоской перегородкой		76,8	75,0
Без глушителя		91,1	94,1



**Рис. 6.** Схема глушителя с плоской перегородкой:  
1 и 4 — входной и выходной патрубки; 2 — кольцевой зазор;  
3 — плоская перегородка

**Результаты исследований.** Из экспериментальных данных следует, что степень перфорации существенного влияния на шумоглушение не оказывает. С увеличением степени перфорации гидродинамическое сопротивление в глушителе уменьшается. Увеличение объема эллипсовидной вставки на эффект шумоглушения влияет незначительно. Из исследованных образцов глушителей наиболее эффективным по шумоглушению оказался глушитель с плоской перегородкой. Схема такого глушителя приведена на рис. 6. Плоская перегородка в цилиндрическом корпусе глушителя располагается перпендикулярно его

оси и делит объем глушителя на две полузамкнутые камеры. Плоская перегородка и корпус глушителя образуют кольцевой зазор, предназначенный для прохода звуковых волн во вторую камеру.

**Заключение.** Согласно предлагаемой гипотезе, снижение шума в глушителе данной конструкции происходит вследствие многократного отражения акустических волн от внутренних стенок корпуса и плоской перегородки. В результате этого процесса во внутренней полости глушителя формируется сложная интерференционная картина, приводящая к уменьшению интенсивности звуковых волн. Уменьшению акустической энергии способствует также эффект дросселирования, возникающий из-за кольцевого зазора.

Необходимо отметить, что, кроме улучшенных акустических характеристик, данный глушитель имеет наименьшее гидравлическое сопротивление по сравнению с другими. Он конструктивно прост и имеет небольшую массу.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Скобцов Е.А., Изотов А.Д., Тузов Л.В. Методы снижения вибраций и шума дизелей. Л., Машгиз, 1962.
- [2] Вахитов Ю.Р., Еникеев Р.Д. Снижение шума выпуска поршневого ДВС при основном истечении газа. *Известия МГТУ МАМИ*, 2009, № 1, с. 14–17.
- [3] Yasuda T., Wu Ch., Nakagawa N., et al. Studies on an automobile muffler with the acoustic characteristic of low-pass filter and Helmholtz resonator. *Appl. Acoust.*, 2013, vol. 74, no. 1, pp. 49–57. DOI: 10.1016/j.apacoust.2012.06.007
- [4] Прохоренко А.А., Парсаданов И.В., Самойленко Д.Е. Новационная конструкция глушителя шума выпуска тракторного дизеля. *Двигатели внутреннего сгорания*, 2013, № 1, с. 61–65.
- [5] Фесина М.И., Малкин И.В., Горина Л.Н. и др. Характеристики автомобильных систем выпуска отработавших газов и предъявляемые к ним требования. *Безопасность в техносфере*, 2011, № 6, с. 39–47.
- [6] Васильев Б.С. Методы снижения шума двигателей. *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*, 2015, № 4, с. 1–10.
- [7] Плотников Л.В., Жилкин Б.П., Бродов Ю.М. и др. Влияние аэродинамического сопротивления впускных и выхлопных систем автомобильных двигателей на процессы газообмена. *Вестник ЮУрГУ. Сер. Энергетика*, 2014, т. 14, № 1, с. 15–21.
- [8] Прохоров С.П., Фесина М.И., Дерябин И.В. Низкошумный акустический моторный стенд. Патент 2242735 РФ. Заявл. 30.09.2002, опубл. 20.12.2004.
- [9] Баженов С.А., Челноков В.Г. Способ определения шума, излучаемого глушителями системы выпуска автомобильных двигателей. Патент 2292537 РФ. Заявл. 21.03.2005, опубл. 27.01.2007.
- [10] Баженов С.А., Плясунов Ю.А., Челноков В.Г. Устройство для испытаний глушителей шума выпуска двигателей внутреннего сгорания. Патент 2004118771 РФ. Заявл. 21.06.2004, опубл. 27.08.2006.
- [11] Кочергин А.В., Накоряков П.В., Ившин И.В. и др. Открытый акустический стенд. Патент 94016335 РФ. Заявл. 27.04.1994, опубл. 20.01.1996.
- [12] Суховая Е.А., Теляшов Д.А., Павлов Г.И. и др. Исследование системы выхлопа ДВС малой мощности БПЛА. *Тр. X Общерос. молодеж. науч.-техн. конф. «Молодежь. Техника. Космос»*. Т. 1. М., Военмех, 2018, с. 439–442.
- [13] Павлов Г.И., Суховая Е.А., Теляшов Д.А. Экспериментальные исследования глушителей шума разной конструкции, предназначенные для ДВС малой мощности. *Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении*. Казань, Казанский научный центр РАН, 2016, с. 351–354.
- [14] Суховая Е.А., Теляшов Д.А., Никитин М.А. и др. Разработка глушителя шума ДВС малой мощности применительно к беспилотным летательным аппаратам. *Мат. докл. XXIII Междунар. молодеж. науч. конф. (школы молодых ученых) «Туполевские чтения»*. Т. 1. Казань, Академия Наук РТ, 2017, с. 982–987.

**Суховая Екатерина Александровна** — инженер кафедры специальных технологий в образовании Казанского учебно-исследовательского методического центра, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (Российская Федерация, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10).

**Теляшов Дмитрий Александрович** — учебный мастер кафедры специальных технологий в образовании Казанского учебно-исследовательского методического центра, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (Российская Федерация, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10).

**Павлов Григорий Иванович** — д-р техн. наук, профессор кафедры специальных технологий в образовании Казанского учебно-исследовательского методического центра, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (Российская Федерация, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10).

**Накоряков Павел Викторович** — канд. техн. наук, доцент кафедры специальных технологий в образовании Казанского учебно-исследовательского методического центра, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (Российская Федерация, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10).

**Никитин Михаил Александрович** — канд. техн. наук, доцент кафедры специальных технологий в образовании Казанского учебно-исследовательского методического центра, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (Российская Федерация, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Суховая Е.А., Теляшов Д.А., Павлов Г.И. и др. Оценка эффективности системы выхлопа двигателей внутреннего сгорания малой мощности беспилотного летательного аппарата на безмоторном испытательном стенде. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2019, № 5, с. 22–33.

DOI: 10.18698/0236-3941-2019-5-22-33

## NON-MOTOR TEST BENCH EVALUATION OF EFFICIENCY OF THE EXHAUST SYSTEM OF LOW-POWER INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF UAV

E.A. Sukhovaya

D.A. Telyashov

G.I. Pavlov

P.V. Nakoryakov

M.A. Nikitin

sukhovay-ekaterina@yandex.ru

assaulttelov@mail.ru

pavlov16@mail.ru

nakorjakov@mail.ru

akustika2014k@mail.ru

**Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI,  
Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation**

---

### Abstract

Currently, there is a high increase in production of air vehicles equipped with low-power internal combustion engines. The main demasking factor of such engines is the high noise of their exhaust system. To solve this problem, we made a test bench on which we estimated the efficiency of several alternate designs of mufflers. In the course of work, we studied the influence of various internal elements of the muffler on its hydrodynamic resistance and noise attenuation efficiency. According to the results obtained, we found the best design alternate design of the muffler, which effectively coped with its role

### Keywords

*Low-power internal combustion engine, exhaust system of engine, muffler, non-motor test bench, weak shock waves in airflow, hydrodynamic resistance, noise attenuation efficiency*

Received 25.02.2019

© Author(s), 2019

---

### REFERENCES

- [1] Skobtsov E.A., Izotov A.D., Tuzov L.V. *Metody snizheniya vibratsiy i shuma dizeley* [Methods to reduce vibration and noise in diesel engines]. Leningrad, Mashgiz Publ., 1962.
- [2] Vakhitov Yu.R., Enikeev R.D. Noise reduction for exhaust of the piston internal-combustion engine with coaxial gas outflow. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2009, no. 1, pp. 14–17 (in Russ.).
- [3] Yasuda T., Wu Ch., Nakagawa N., et al. Studies on an automobile muffler with the acoustic characteristic of low-pass filter and Helmholtz resonator. *Appl. Acoust.*, 2013, vol. 74, no. 1, pp. 49–57. DOI: 10.1016/j.apacoust.2012.06.007
- [4] Prokhorenko A.A., Parsadanov I.V., Samoylenko D.E. An innovation design of the muffler for tractor diesel. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Internal Combustion Engines], 2013, no. 1, pp. 61–65 (in Russ.).
- [5] Fesina M.I., Malkin I.V., Gorina L.N., et al. The characteristics of automotive exhaust systems and the requirements upon them. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere], 2011, no. 6, pp. 39–47 (in Russ.).

- [6] Vasil'yev B.S. Methods for reducing engine noise. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2015, no. 4, pp. 1–10 (in Russ.).
- [7] Plotnikov L.V., Zhilkin B.P., Brodov Yu.M., et al. The influence of aerodynamic resistance of intake and exhaust systems of motor vehicle engines on gas exchange processes. *Vestnik YuUrGU. Ser. Energetika* [Bulletin of South Ural State University. Ser. Power Engineering], 2014, vol. 14, no. 1, pp. 15–21 (in Russ.).
- [8] Prokhorov S.P., Fesina M.I., Deryabin I.V. Nizkoshumnyy akusticheskiy motornyy stand [Low noise acoustic motor stand]. Patent 2242735 RF. Appl. 30.09.2002, publ. 20.12.2004 (in Russ.).
- [9] Bazhenov S.A., Chelnokov V.G. Sposob opredeleniya shuma, izluchaemogo glushitelyami sistemy vypuska avtomobil'nykh dvigateley [Method of determining noise radiated by mufflers of automobile engines exhaust system]. Patent 2292537 RF. Appl. 21.03.2005, publ. 27.01.2007 (in Russ.).
- [10] Bazhenov S.A., Plyasunov Yu.A., Chelnokov V.G. Ustroystvo dlya ispytaniy glushiteley shuma vypuska dvigateley vnutrennego sgoraniya [Device for testing silencers of internal combustion engine exhaust noise]. Patent 2004118771 RF. Appl. 21.06.2004, publ. 27.08.2006 (in Russ.).
- [11] Kochergin A.V., Nakoryakov P.V., Ivshin I.V., et al. Otkrytyy akusticheskiy stand [Open acoustic stand]. Patent 94016335 RF. Appl. 27.04.1994, publ. 20.01.1996 (in Russ.).
- [12] Sukhovaya E.A., Telyashov D.A., Pavlov G.I., et al. [Study on exhaust systems of UAVs with low power internal combustion engines]. *Tr. X Obshcheros. molodezh. nauch.-tekhn. konf. "Molodezh'. Tekhnika. Kosmos"*. T. 1 [Proc. X Russ. Youth Sc.-Tech. Conf. "Youth. Technique. Space". Vol. 1]. Moscow, Voenmekh Publ., 2018, pp. 439–442 (in Russ.).
- [13] Pavlov G.I., Sukhovaya E.A., Telyashov D.A. [Experimental studies on different design silencers for low power internal combustion engine]. *Problemy teplomassoobmena i gidrodinamiki v energomashinostroyeni* [Problems of heat and mass transfer and hydrodynamics in power engineering]. Kazan, Kazanskiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2016, pp. 351–354 (in Russ.).
- [14] Sukhovaya E.A., Telyashov D.A., Nikitin M.A., et al. [Development of low-power internal combustion engine muffler for unmanned aerial vehicles]. *Mat. dokl. XXIII Mezhdunar. molodezh. nauch. konf. "Tupolevskie chteniya"*. T. 1 [Proc. Int. Youth Sc. Conf. "Tupolev readings". Vol. 1]. Kazan, Akademiya Nauk RT Publ., 2017, pp. 982–987 (in Russ.).

**Sukhovaya E.A.** — Engineer, Department of Special Technologies in Education, Kazan Training, Research and Methodological Center, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI (Karl Marx ul. 10, Kazan, Republic of Tatarstan, 420111 Russian Federation).

**Telyashov D.A.** — Training Master, Department of Special Technologies in Education, Kazan Training, Research and Methodological Center, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI (Karl Marx ul. 10, Kazan, Republic of Tatarstan, 420111 Russian Federation).

**Pavlov G.I.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Special Technologies in Education, Kazan Training, Research and Methodological Center, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI (Karl Marx ul. 10, Kazan, Republic of Tatarstan, 420111 Russian Federation).

**Nakoryakov P.V.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Special Technologies in Education, Kazan Training, Research and Methodological Center, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI (Karl Marx ul. 10, Kazan, Republic of Tatarstan, 420111 Russian Federation).

**Nikitin M.A.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Special Technologies in Education, Kazan Training, Research and Methodological Center, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI (Karl Marx ul. 10, Kazan, Republic of Tatarstan, 420111 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Sukhovaya E.A., Telyashov D.A., Pavlov G.I., et al. Non-motor test bench evaluation of efficiency of the exhaust system of low-power internal combustion engine of UAV. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2019, no. 5, pp. 22–33 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2019-5-22-33