

УДК: 62-85
OECD: 3101

Исследование пропускной способности и акустической эффективности пневматических глушителей

Иголкин А.А.¹, Пантюшин А.О.^{2*}, Сафин А.И.³

¹Д.т.н., профессор, профессор кафедры, ²Аспирант, аспирант кафедры,

³К.т.н., доцент, доцент кафедры,

^{1,2,3}Кафедра автоматических систем энергетических установок имени академика РАН Владимира Павловича Шорина, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, РФ

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы акустического загрязнения при работе пневматических систем высокого давления. Основное внимание уделяется исследованию эффективности различных конструкций глушителей шума, которые снижают уровень звукового воздействия при выбросе сжатого воздуха в атмосферу. Проведены экспериментальные исследования с использованием различных моделей пяти глушителей. Определены ключевые параметры эффективности: акустическая эффективность, пропускная способность глушителя и противодавление. Обнаружены закономерности изменения противодавления в системе. Предложен критерий оценки пропускной способности по времени падения давления в системе. Исследования показали, что наилучшие результаты по снижению уровня шума демонстрирует глушитель №4, хотя он имеет время сброса избыточного давления выше допустимого. Предложенная методика испытаний может быть применена для систем с различным избыточным давлением.

Ключевые слова: акустическая эффективность, глушитель, шум, система пневматическая, динамика

Research of the throughput and acoustic efficiency of pneumatic silencers

Igolkin A.A.¹, Pantyushin A.O.^{2}, Safin A.I.³*

¹Dr. of Engineering, Professor, Professor of the Department, ²Postgraduate student, postgraduate student of the Department,

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, ^{1,2,3}Automatic Systems of Power Plants named after Academician of the Russian Academy of Sciences Vladimir Pavlovich Shorin, Samara National Research University named after academician S.P. Korolev (Samara University), Samara, Russian Federation

Abstract

The article examines the issues of acoustic pollution when high-pressure pneumatic systems are in operation. The main focus is on the investigation of the effectiveness of various types of noise silencers, which reduce the sound impact level during the release of compressed air into the atmosphere. Experimental studies were conducted using different models of five silencers. Key effectiveness parameters were identified: acoustic

*E-mail: pantyushin.ao@ssau.ru (Пантюшин А.О.)

efficiency, silencer throughput, and back pressure. A method for evaluating the performance of silencers under unstable system pressure conditions has been developed. The results showed that the best performance in noise level reduction was demonstrated by silencer №4, despite its increased excess pressure release time. The proposed testing methodology can be applied to systems of varying pressures.

Keywords: acoustic efficiency, noise silencers, noise, pneumatic system, dynamics

Введение

Пневматические системы создают повышенный уровень шума, вызванный выбросом сжатого воздуха в атмосферу. Это негативно влияет на окружающую среду и рабочий персонал [1]. Для решения этой проблемы используются пневматические глушители шума, которые снижают скорость, уменьшая шум.

В работах по этой теме приводятся критерии эффективности глушителя, включающие акустическую эффективность, гидросопротивление (пропускная способность глушителя), габариты и ресурс глушителя. В то же время недостаточно изучены вопросы определения характеристик и параметров глушителей аэродинамического шума в системах высокого давления.

Таким образом, в данной работе основным направлением было изучение процессов, проходящих в глушителях высокого давления и их взаимосвязи с аналогичными процессами в системах низкого давления. При выборе глушителя учитываются его технические характеристики, такие как уровень шума, быстродействие, противодействие и акустическая эффективность. Важно найти глушитель, обеспечивающий необходимое шумоподавление без ограничений для работы системы. Акустическая эффективность определяется как разница уровней шума до установки глушителя и после [2].

1 Описание экспериментального стенда

В рамках работы была проведена серия замеров характеристик пяти глушителей шума. Определялись зависимости снижения шума от параметров пористого материала глушителя и их габаритных размеров. В Глушителе 1 в качестве пористого материала используется пористый алюминий. В Глушителях 2-5 используется пеннополиуретан [7]. На рисунке 1 представлены глушители, которые были исследованы.

Глушитель №1

Глушитель №3

Глушитель №5



Глушитель №2

Глушитель №4

Рисунок 1 – Исследуемые глушители

Общий вид экспериментального стенда, а также ключевые элементы представлены на рисунке 2. На рисунке 3 представлена пневматическая схема установки с указанием элементов и мест их установки.

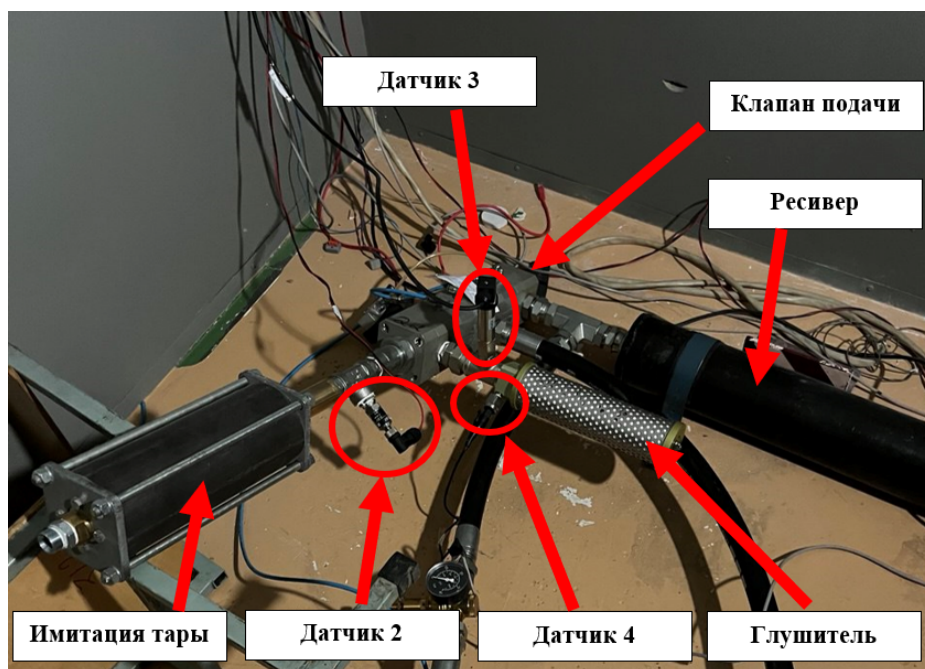


Рисунок 2 – Общий вид экспериментального стенда

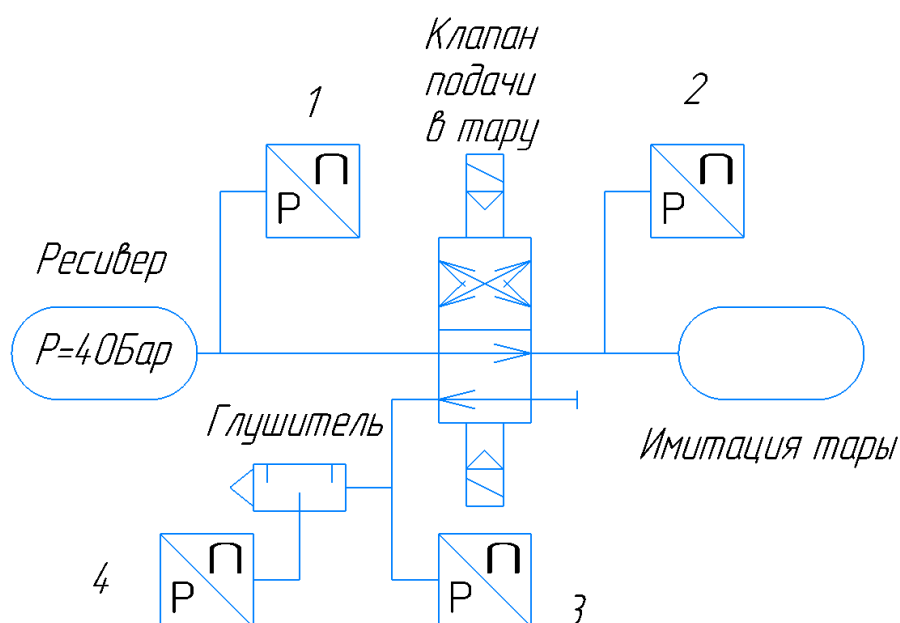


Рисунок 3 – Пневматическая схема экспериментального стенда

2 Проведение испытаний глушителей

В рамках исследования был проведен анализ акустической эффективности. Полученные данные представлены в таблице 1. При анализе шумового воздействия точка

измеряемого уровня звукового давления располагалась на расстоянии 1 м от источника шума, объем камеры для испытаний равен 30 м³. Основной параметр по которому проводились замеры – пиковый скорректированный по С уровень звука (Peak C), дБС – это десять десятичных логарифмов отношения квадрата пикового звукового давления, измеренного с использованием стандартизованной частотной коррекции, к квадрату опорного звукового давления. Максимальные уровни звука *A*, измеренные с временными коррекциями *S* и *I* (Imp max) – наибольшая величина уровня звука, измеренная на заданном интервале времени со стандартной временной коррекцией.

Таблица 1 – Данные акустических замеров

№	Глушитель	Peak C	Imp max	Δ Peak C	Δ Imp max
1	Без глушителя	151,0	141,1	-	-
2	Глушитель 1	129,6	114,7	21,4	26,4
3	Глушитель 2	124,8	106,7	26,2	34,4
4	Глушитель 3	124,4	105,2	26,6	35,9
5	Глушитель 4	123,6	105,2	27,4	35,9
6	Глушитель 5	122,6	100,1	28,4	41

Анализ акустической эффективности [4] показал, что лучшие характеристики у глушителя №5, далее у глушителя №4, потом глушитель №3. У глушителя №3 значения близки к глушителю №4.

Испытания проводятся для глушителей высокого давления (избыточное начальное давление в пневмоемкости $P = 40$ Бар), но нормирование пропускной способности по ГОСТ 25144 – 82 отсутствует для давлений, отличных от 6,3 Бар. Для определения пропускной способности глушителей проведены измерения противодавления и падения давления в емкости, которые наиболее точно отражают динамику пневматической системы [3]. В результате получены зависимости падения давления в характерных узлах системы. Результаты замеров представлены в виде графиков на рисунках 4 и 5. Для большей читаемости графики имеют незначительное разнесение во времени.

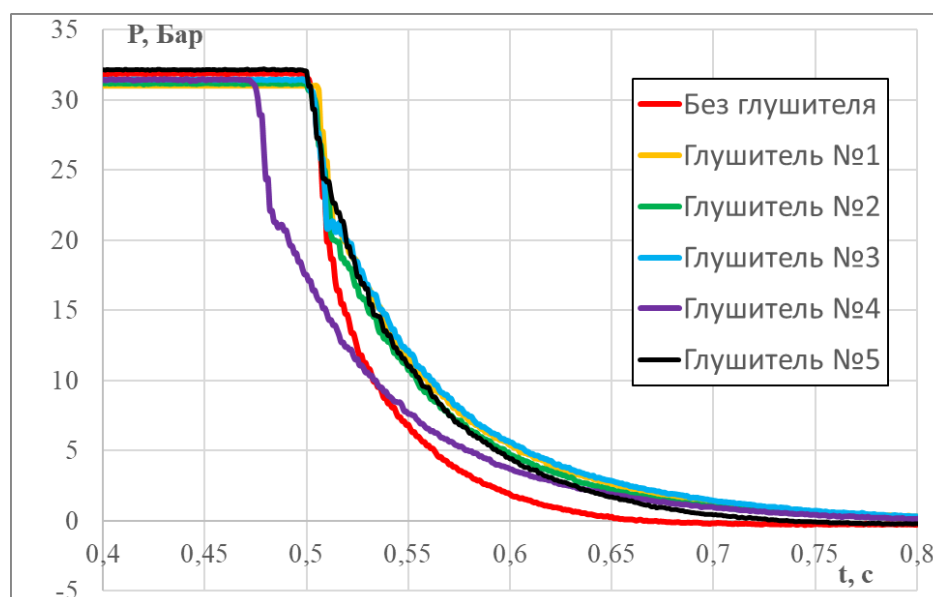


Рисунок 4 – Давления в датчике 2 перед имитатором тары

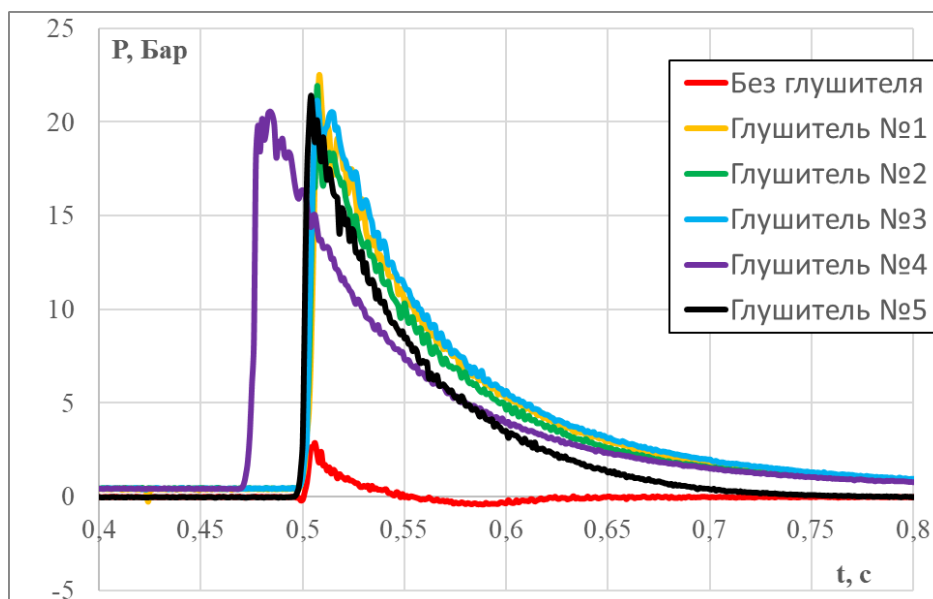


Рисунок 5 – Давление в точке замера 3 перед глушителем

Из представленных графиков видно, что уровень противодавления в точке измерения перед глушителем имеет незначительный разброс значений от 20 до 23 Бар, но значительно больший, чем противодавление в системе без глушителя (3 Бара).

После получения стабильных результатов при замерах на представленной установке, стало очевидно, что характер падения давления в основных точках измерения идентичен.

Основной целью работы было определение возможных критериев оценки эффективности глушителя. При рассмотрении вопроса было обнаружено, что отсутствуют нормативные документы, регламентирующие этот процесс в системах высокого давления. Для решения этой задачи было принято решение опираться на ГОСТ 25144-82 «Пневмоглушители. Технические условия». Согласно нему, воздух из пневмоемкости выпускают через выхлопную линию, состоящую из трубопровода длиной не менее 1 м с внутренним диаметром, большим чем d (D_y) испытуемого пневмоглушителя, пневмодресселя, пневмораспределителя с пропускной способностью, превышающей пропускную способность (K_v) испытуемого пневмоглушителя. Определяется параметр t_1 – время падения давления при выхлопе без глушителя. Перед проведением испытаний настройкой пневмодресселя достигают выбранного значения времени t_1 изменения давления в пневмоемкости от p_1 до p_2 при выхлопе без пневмоглушителя. Затем в выхлопную линию устанавливают испытуемый пневмоглушитель и измеряют время изменения давления от p_1 до p_2 в пневмоемкости. Пневмоглушитель считается выдержавшим испытание при условии:

$$t < 1,4t_1, \quad (1)$$

где t – время изменения давления в пневмоемкости при выхлопе с глушителем, с [5].

В рамках этой работы была отобрана группа из пяти глушителей, которые давали наиболее стабильные результаты. Изменение давления в этих глушителях представлено на рисунке 6.

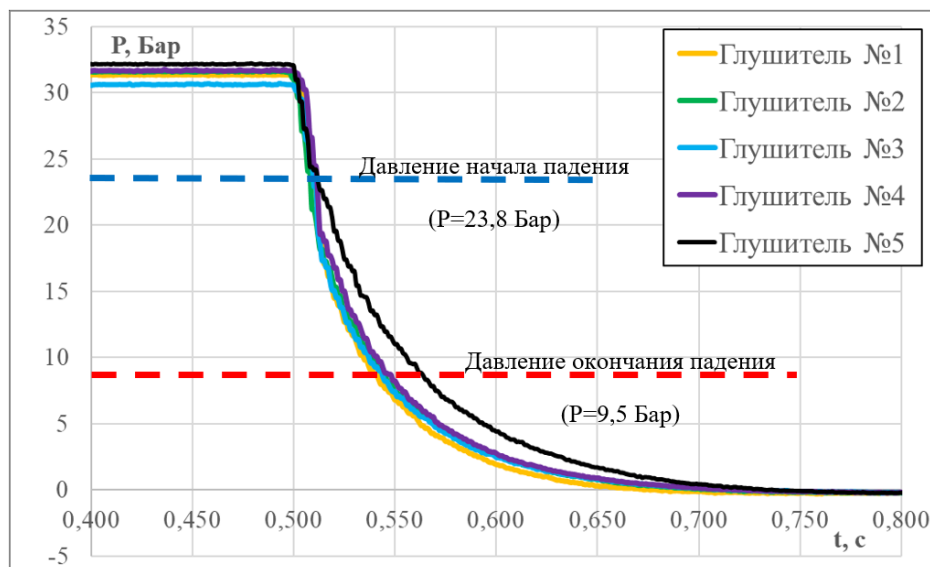


Рисунок 6 – Падение давления в таре перед глушителем

В рамках замеров также было обнаружено, что в системах высокого давления может встречаться значительное отклонение от заданного давления, особенно при длительной работе системы. В связи с этим, опираясь на ГОСТ 25144-82 было принято решения брать не фиксированные значения для давления, по которым определяются отсчетные точки [6]. А заменить значения давления в доли от заданного в системе, что в дальнейшем позволит применять методику для систем разного давления. В ГОСТе для систем с давлением 0,63 МПа (6,3 Бар) установлены точки в 0,5 и 0,2 МПа (5 и 2 Бар), в своей работе по аналогии были приняты значения 0,8 и 0,3 от максимального давления в системы. В соответствии с этим отсчет времени падения давления (t) начинается с момента, когда достигается давление 0,8 от максимального давления в системе, а завершается, когда давление становится менее, чем 0,2 от максимального. После определения основных точек для работы с данными, была создана программа для автоматической обработки массива данных.

В таблице 2 представлены результаты обработки данных по отобранным глушителям, визуально представленных на рисунке 6.

Таблица 2 – Результаты автоматического расчета коэффициента

№		t_n, c	t_k, c	$\Delta t, c$	k
1	Без глушителя	0,51	0,538	0,028	1
2	Глушитель №1	0,51	0,539	0,029	1,03
3	Глушитель №2	0,507	0,538	0,031	1,11
4	Глушитель №3	0,512	0,542	0,03	1,07
5	Глушитель №4	0,512	0,545	0,033	1,18
6	Глушитель №5	0,507	0,565	0,64	1,64

Как упоминалось выше, подобные фильтры должны устанавливаться в систему высокого быстродействия, поэтому в рамках нашей работы было принято оставить условие прохождения испытания в соответствии с ГОСТом $t < 1,4t_1$ ($k \leq 1,4$), где t_1 – время падения давления в системе без глушителя, t – время падения в системе с установленным глушителем (Δt).

В соответствии с таблицей 2, результатом работы глушителей и условиями достаточной пропускной способности в соответствии с ГОСТом можно наблюдать разность результатов для коэффициента эффективности (k). Из пяти использованных в замерах глушителей последний показал самый худший результат ($k=1,64$), что превышает выбранный нами по аналогии с ГОСТом показатель $k=1,4$. Если обратиться к рисунку 6 действительно можно наблюдать значительное отклонение линии, описывающей падение давления, от общей траектории остальных глушителей. Наиболее высокую эффективность показал глушитель №4, что также подтверждается поведением траектории на графике (рисунок 7). А также, из таблицы 2, видно: критерий эффективности $k=1,03$ оказался наименьшим из всех полученных и меньшим 1,4.

Проанализировав полученные данные можно утверждать, что лучшие результаты по снижению уровня шума дает созданный авторами глушитель №4, но за счет увеличения время сброса избыточного давления, которое тем не менее удовлетворяет заданному критерию эффективности, не превышающем 1,4 (Глушитель №4 $k=1,18$). На основе полученных результатов можно сделать вывод, что использование предложенной методики оправдано в условиях пневматических систем высокого давления, в том числе при различных значениях избыточного давления системы.

Заключение

Проведенные исследования позволили определить эффективность разных конструкций глушителей для пневматических систем высокого давления. Установлено, что выбор оптимального глушителя должен учитывать не только уровень шумоподавления, но и влияние на производительность системы.

Определены критерии оценки эффективности глушителей, которые могут быть использованы при проектировании и модернизации пневматических систем. Результаты исследования имеют практическую значимость для предприятий, где требуется снижение уровня шума при сохранении высокой производительности оборудования.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку новых конструкций глушителей с улучшенными характеристиками и изучение влияния различных параметров на их эффективность, а также системы диагностики степени загрязненности глушителя во время работы.

Результаты исследования были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России в области научной деятельности (Проект № FSSS-2023-0008).

Список использованных источников

1. А.А. Иголкин, А.Н. Крючков, Г.М. Макарьянц [и др.]. Под ред. Е.В. Шахматова, В.П. Шорина Снижение колебаний и шума в пневмогидромеханических системах. – Самара: СГАУ, 2005. - 314 с.
2. Э.С. Арзуманов, В.Г. Скрипченко, Л.Н. Нисман Расчет уровня снижения шумов в регулирующих органах клапанов для высоких перепадов давлений. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1976. - 48 с.
3. П.В.Баннова, А.А. Иголкин Исследование характеристик глушителей шума пневмосистем // Материалы конференции «Динамика и виброакустика 2024» (Самара, 3-6 сентября 2024). - Самара: Самарский университет, 2025. - С. 56-65.
4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» введ. 2021-

01-28. - КонсультантПлюс, 2021. [Электронный ресурс]. - URL: https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf (дата обращения 15.05.2025).

5. ГОСТ 25144 – 82. Пневмоглушители. Технические условия – М.:Изд-во стандартов, 1982. – 22 с.

6. Шахматов Е.В., Иголкин А.А. [и др.]. Разработка пневматического глушителя шума – Защита от повышенного шума и вибрации сборник трудов конференции IX Всероссийской научно-практической конференции. - СПб: Институт акустических конструкций, 2023. - 5с.

7. Заика А.В., Иголкин А.А., Решетов В.М., Сафин А.И., Сафина И.И Разработка конструкции пневматического глушителя шума высокого давления и исследование его эффективности // Динамика и виброакустика. - Самара: Самарский университет, 2023. - С. 22-26.

8. Заика А.В., Иголкин А.А. [и др.]. Разработка пневматического глушителя шума // Защита от повышенного шума и вибрации сборник трудов конференции IX Всероссийской научно-практической конференции. - СПб: Институт акустических конструкций, 2023. - С. 48-55.

References

1. Igolkin A.A., Kryuchkov A.N., Makaryants G.M. [et al.]. Reduction of vibrations and noise in pneumohydraulic systems. Edited by Shakhmatov E.V., Shorin V.P. - Samara: SSAU, 2005. - 314 p.

2. Arzumanov E.S., Skripchenko V.G., Nisman L.N. Calculation of noise reduction levels in control valves for high pressure drops. - Moscow: TsINTIkhimneftemash, 1976. - 48 p.

3. Bannova P.V., Igolkina A.A. Study of noise silencers characteristics in pneumatic systems. Proceedings of the conference 'Dynamics and Vibroacoustics 2024' (Samara, September 3–6, 2024). - Samara: Samara University, 2025. - P. 56-65.

4. SanPiN 1.2.3685–21 Hygienic standards and requirements for ensuring safety and/or harmlessness to humans of environmental factors. Introduced 2021-01-28. - ConsultantPlus, 2021. [Electronic resource]. - URL: https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf (date of reference 15.05.2025).

5. GOST 25144–82 Pneumatic silencers. Technical specifications. - Moscow: Standards Publishing House, 1982. - 22 p.

6. Shakhmatov E.V., Igolkina A.A. [et al.]. Development of a pneumatic noise silencer. Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference 'Protection from increased noise and vibration'. — Saint Petersburg: Institute of Acoustic Structures, 2023. - 5 p.

7. Zaika A.V., Igolkina A.A., Reshetov V.M., Safin A.I., Safina I.I. Development of a high-pressure pneumatic noise silencer design and study of its effectiveness. Dynamics and Vibroacoustics. - Samara: Samara University, 2023. - P. 22-26.

8. Zaika A.V., Igolkina A.A. [et al.]. Development of a pneumatic noise silencer. Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference 'Protection from increased noise and vibration'. - Saint Petersburg: Institute of Acoustic Structures, 2023. - P. 48-55.