

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 697.921.4



DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-172-179 Оригинальная статья /Original article

Сравнительный анализ методик акустического расчета дросселирующих устройств
Д.В. Абрамкина¹, А.О. Иванова¹, Д.Ф. Карпов², М.В. Павлов², Х.М. Вафаева³

¹Московский государственный строительный университет,

¹129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия,

²Вологодский государственный университет,

²160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, Россия,

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

³195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29 литера Б, Россия

Резюме. Цель. Выявление повышенных шумов от вентиляционных систем в период эксплуатации зданий приводит к необходимости проведения сложных и дорогостоящих операций по обнаружению и устранению источников шума, проведению демонтажных работ, установке дополнительных шумоглушителей или замене вентиляционного оборудования. Проведение корректных акустических расчетов является одной из важнейших задач при проектировании объектов различного назначения. **Метод.** В статье представлен анализ отечественных и зарубежных методик по определению шума, генерируемым дросселирующим устройством. Оценка точности результатов расчетов проводилась с помощью их сравнения с данными натурных испытаний. **Результат.** Было выявлено резкое возрастание уровня звуковой мощности в дросселирующем устройстве при увеличении угла поворота створки более 60 градусов, что оказывает значительное влияние на акустическую обстановку помещений и приводит к превышению нормируемых уровней шумового воздействия. **Вывод.** Проведенный сравнительный анализ существующих методик расчета позволил выявить, что отечественная методика расчета дает требуемый запас по уровню звуковой мощности дросселирующего устройства по всем октавным полосам. К недостаткам зарубежных методик расчета можно также отнести отсутствие учета акустического влияния фасонных элементов и присоединения воздуховода к дросселю, что приводит к необходимости дальнейшей верификации методик расчета для сложных систем.

Ключевые слова: шум, шумовые характеристики, вентиляционная система, дросселирующие устройства, уровень звуковой мощности

Для цитирования: Д.В. Абрамкина, А.О. Иванова, Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов, Х.М. Вафаева. Сравнительный анализ методик акустического расчета дросселирующих устройств. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024; 51(3):172-179. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-172-179

Comparative analysis of acoustic calculation methods for throttling devices
D.V. Abramkina¹, A.O. Ivanova¹, D.F. Karpov², M.V. Pavlov², Kh.M. Vafaeva³

¹ Moscow State University of Civil Engineering,

¹ Yaroslavl highway, 26, Moscow 129337, Russia,

² Vologda State University,

² 15 Lenin St., Vologda 160000, Russia,

³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

³ 29 letter B Polytechnique St., Saint-Petersburg 195251, Russia

Abstract. Objective. The identification of increased noise levels from ventilation systems during the operation of buildings necessitates complex and costly procedures to detect and eliminate noise sources, conduct dismantling work, install additional silencers, or replace ventilation equipment. Therefore, accurate acoustic calculations are one of the most critical tasks in

the design of various facilities. **Method.** This article presents an analysis of domestic and international methods for determining the noise generated by throttling devices. The accuracy of the calculation results was evaluated by comparing them with data from field tests. **Result.** A sharp increase in sound power level within the throttling device was observed when the blade angle exceeded 60 degrees, significantly impacting the acoustic environment of the premises and leading to an exceedance of regulated noise levels. **Conclusion.** The conducted comparative analysis of existing calculation methods revealed that the domestic calculation method provides the required margin for the sound power level of the throttling device across all octave bands. A notable drawback of international calculation methods is the lack of consideration for the acoustic impact of duct fittings and the connection of the duct to the throttle, which underscores the need for further validation of these methods for complex systems.

Keywords: noise, noise characteristics, ventilation system, throttling devices, sound power level

For citation: D.V. Abramkina, A.O. Ivanova, D.F. Karpov, M.V. Pavlov, Kh.M. Vafaeva. Comparative analysis of acoustic calculation methods for throttling devices. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024; 51(3):172-179. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-172-179

Введение. Проведение акустических расчетов вентиляционных систем сопровождается рядом трудностей. Одной из наиболее распространенных ошибок является некорректное выявление источников шума. Так, зачастую проектировщики учитывают только шум, генерируемый вентилятором, оставляя без должного внимания работу регулирующих устройств и влияние фасонных элементов [1].

Поскольку установка дросселирующих клапанов производится непосредственно на ответвлениях вентиляционных каналов, они являются критически важными компонентами при оценке акустической обстановки в помещении. Постоянный шум от инженерных систем в здании оказывает негативное воздействие на здоровье, работоспособность и психическое состояние человека, особенно в ночное время суток [2-3]. Низкочастотные вибрации, распространяющиеся по ограждающим конструкциям здания при работе вентиляторов близки к резонансным частотам внутреннего человеческого тела, что приводит к возникновению целого ряда болезненных синдромов [4-5].

При прохождении воздушного потока через створку дросселирующего устройства формируются два источника шума: задняя кромка, создающая широкополосный шум, и вихревая зона, формирующая узкополосный шум с экстремумом в одной из октавных частот.

Уровень звуковой мощности дросселирующего устройства зависит от скорости потока воздуха и потерь давления, возникающей на клапане [6-7]. Отсутствие коэффициентов местного сопротивления (КМС) при различных углах открытия дросселирующих устройств в каталогах фирм-производителей затрудняет точный расчет и оценку работы клапанов в реальных условиях.

В основном, данные по шумовым характеристикам либо отсутствуют полностью, либо указан только скорректированный по шкале А уровень звуковой мощности, дБ(А), что приводит к невозможности проведения квалифицированного акустического расчета [8]. Шум от механических вентиляционных систем может стать серьезным ограничением по их применению в жилищном строительстве [9-11].

Постановка задачи. Объектом исследования являются одностворчатые дросселирующие клапаны систем вентиляции. Предмет исследования – шум, генерируемый регулирующими устройствами в вентиляционной сети.

Целью исследования является проведение сравнительного анализа существующих методик по расчету уровней звуковой мощности, излучаемой в воздуховод дроссель-клапанами систем вентиляции.

Методы исследования. Методика 1. Для расчета звуковой мощности, дБ, излучаемой в воздуховод по октавным уровням различными регулирующими устройствами, используется следующая формула [12]:

$$L_{\text{рокт}} = 60 \lg v + 20 \lg \zeta + 10 \lg F + 10 \lg \varphi + \Delta L_2 - \Delta L_4 + \Delta L_{\text{вз}} + 36, \quad (1)$$

где: v – скорость потока, набегающего на регулирующее устройство, м/с; ζ – коэффициент местного сопротивления регулирующего устройства, отнесенный к скорости v ; F – площадь поперечного сечения канала, м²; φ – критерий подобия, определяющийся в зависимости от коэффициента местного сопротивления регулирующего устройства; ΔL_2 – поправка, дБ, на акустическое влияние присоединения воздуховода к дросселю, $\Delta L_{\text{вз}}$ – поправка на взаимное расположение фасонных элементов, дБ; ΔL_4 – частотная поправка, дБ.

Поправка на взаимное расположение фасонных элементов $\Delta L_{\text{вз}}$ позволяет учесть турбулизацию воздушного потока в вентиляционном канале при прохождении им местных сопротивлений. В методике также указано, что при расположении фасонных элементов перед дросселирующим устройством на расстоянии, меньшем, чем четыре гидравлических диаметра, уровень звуковой мощности увеличивается на 4 дБ.

Одной из причин повышенного уровня шума в вентиляционных системах является наличие вихревых зон, формирующихся за регулирующими устройствами [13-14]. На практике возникает ситуация, когда дроссель-клапаны устанавливаются в непосредственной близости от воздухораспределительных решеток и диффузоров, что приводит к размыканию вихревой зоны и формированию неблагоприятной акустической обстановки в помещении.

При расчете частотной поправки ΔL_4 используется коэффициент a , зависящий от конструкции регулирующего устройства. В справочных материалах имеются данные только для шиберов и дроссельного клапана. В случае применения ирисовой диафрагмы и соплового регулятора необходимо учитывать степень открытия лепесткового затвора, а также угол расположения створок, но информация по коэффициенту a для рассматриваемых случаев отсутствует. В настоящее время также используются мембранные клапаны постоянного расхода воздуха, для которых точное определение частотной поправки не является возможным.

Методика 2. Уровень шума, генерируемый дросселирующим устройством, можно рассчитать по методике, представленной М. Лонгом [15]:

$$L_{\text{рокт}}(f_0) = K_D + 10 \lg(f_0/63) + 50 \lg(U_C) + 10 \lg(S) + 10 \lg(D_H) + C_D \quad (2)$$

где: $L_{\text{рокт}}$ – уровень звуковой мощности в октавной полосе, дБ; f_0 – средняя частота октавной полосы, Гц; K_D – характеристика спектра клапана, зависящая от потерь давления и числа Струхала; U_C – скорость потока в суженной части канала, фут/с; S – площадь поперечного сечения ответвления канала, фут²; D_H – отношение высоты канала к оси заклонки, фут; C_D – коэффициент местного сопротивления.

Коэффициент закрытия одностворчатого дроссель-клапана определяется по формуле:

$$\begin{cases} B = \frac{\sqrt{C_D} - 1}{C_D - 1}, C_D < 4 \\ B = 0.68 C_D^{0.15} - 0.22, C_D > 4 \end{cases} \quad (3)$$

Скорость потока в суженной части канала, фут/с:

$$U_C = \frac{Q}{60SB}, \quad (4)$$

где: Q – объемный расход воздуха, фут³/мин.

Для определения характеристики спектра клапана необходимо найти число Струхала:

$$S_t = f_0 D / U_C \quad (5)$$

$$(6)$$

$$\begin{cases} K_D = -36,6 - 10,7 \lg(S_t), S_t \leq 25 \\ K_D = -1,1 - 35,9 \lg(S_t), S_t > 25 \end{cases}$$

В данной методике не производится учет особенностей подключения воздухопроводов к дросселирующим устройствам.

Методика 3 подробно описана в [16], где для расчета звуковой мощности регулирующих устройств используется следующее выражение:

$$PWL_{f_0} = K + 10 \log(f_0) + 50 \log(U) + 10 \log(S) + 10 \log(D) + \text{Special Parameters} \quad (7)$$

где: f_0 – средняя частота октавной полосы, Гц; K – характеристика спектра клапана, основанная на числе Струхала; U – скорость потока в канале, м/с; S – площадь поперечного сечения канала, м²; D – отношение высоты канала к оси заслонки, м; *Special Parameter* – параметр, учитывающий потери давления на регулирующем устройстве, для дроссель-клапана принимается равным 18 дБ.

В данной методике определение характера спектра клапана производится с помощью графиков и аналитических зависимостей:

$$\begin{cases} K_D = 5 - 10,7 \lg(S_t), S_t \leq 25 \\ K_D = 40,2 - 35,9 \lg(S_t), S_t > 25 \end{cases} \quad (8)$$

Обсуждение результатов. На начальном этапе были произведены расчеты уровней звуковой мощности дроссельного клапана, установленного вблизи фасонного элемента (отвода) выбранного участка, при различных углах открытия створки (от 20° до 70°). График ниже отображает октавные уровни звуковой мощности, излучаемой в воздухопровод и генерируемой дроссельным клапаном. Красные линии указывают на значения, когда клапан размещен непосредственно у фасонного элемента, а синие — на значения при удалении клапана от него. Предполагается, что скорость на регулирующем устройстве равна скорости воздушного потока в канале. Расчет производится для системы вентиляции с квартирными спутниками круглого сечения с диаметром 125 мм, оборудованной в жилом здании. На каждом спутнике устанавливаются дроссель-клапаны. Расход воздуха в спутнике составил 60 м³/ч, средняя скорость потока воздуха 1,4 м/с.

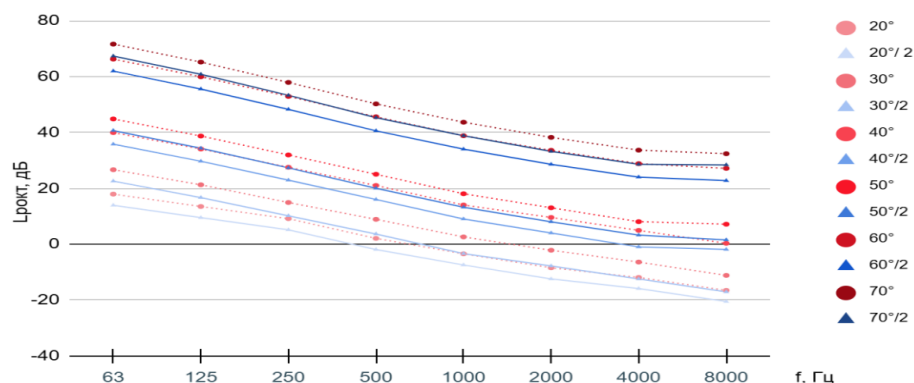


Рис. 1. Сравнительная диаграмма звукового давления при разной степени открытия клапана, КМС при установке непосредственно рядом с фасонным элементом сети
Fig. 1. Comparative diagram of sound pressure at different degrees of opening of the local resistance coefficient valve when installed directly next to the shaped network element

График (рис.1) показывает равномерное снижение шума от низкочастотных к высокочастотным полосам спектра. При закрытии створки клапана происходит значительное возрастание шума, возникающее в результате локального увеличения скорости воздушного потока и более резком разделении потока при прохождении препятствия, с увеличением длины вихревой зоны за регулирующим устройством. Стоит отметить, что формирование шума наиболее заметно при угле заслонки от 60°. Для обеспечения проектных расходов в системе вентиляции при осуществлении пуско-наладочных работ производится регулирование с помощью дроссель-клапанов. При наличии сложной и разветвленной аэродинамической сети, в особенности содержащей ответвления различной длины с сильно отличающимися расходами воздуха, часть ответвлений приходится «под-

жимать», то есть создавать избыточные потери давления на регулирующих устройствах. Данный фактор приводит к значительному повышению уровней шума, что подтверждают результаты расчетов, представленных на рис. 1.

При сравнении допустимых уровней шума для жилых зданий и полученных значений для дроссель-клапана были обнаружены превышения при угле открытия створки 60–70 градусов в различных его положениях (рис. 2).

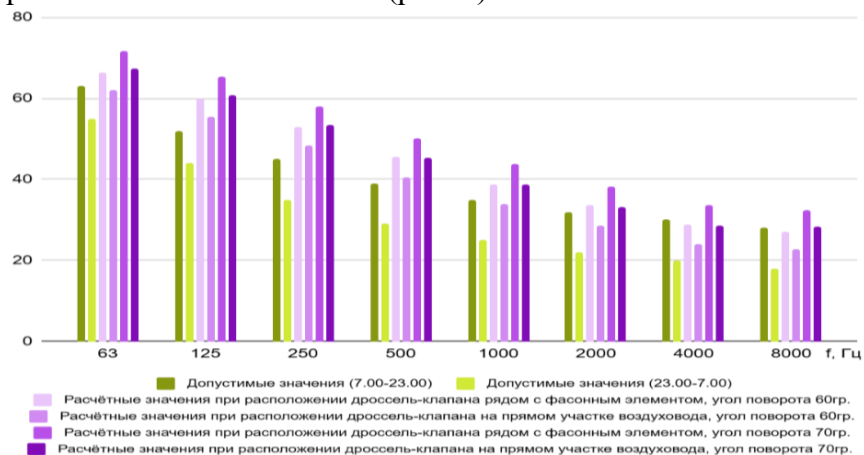


Рис. 2. Сравнительная диаграмма допустимых параметров в жилых комнатах и расчетных параметров от одного элемента сети

Fig. 2. Comparative diagram of permissible parameters in living rooms and calculated parameters from a single network element

Значения уровней звуковой мощности от дроссель-клапана превышают нормируемые значения для жилых помещений на 5–15% в зависимости от градуса его открытия. При этом не были учтены другие элементы вентиляционной сети, которые также создают шум (вентилятор, фасонные элементы, воздухораспределительные устройства).

Следующим этапом был произведен расчет уровней звуковой мощности одностворчатого дросселирующего клапана по трем представленным методикам. Далее результаты расчетов сравнивались с результатами натурных испытаний. В качестве исследуемой системы был выбран прямой участок воздухопроводной сети круглого сечения с диаметром 125 мм. Расчетный расход воздуха составил 144 м³/ч, скорость 3 м/с. Угол раскрытия створки дроссель-клапана составил 40°.

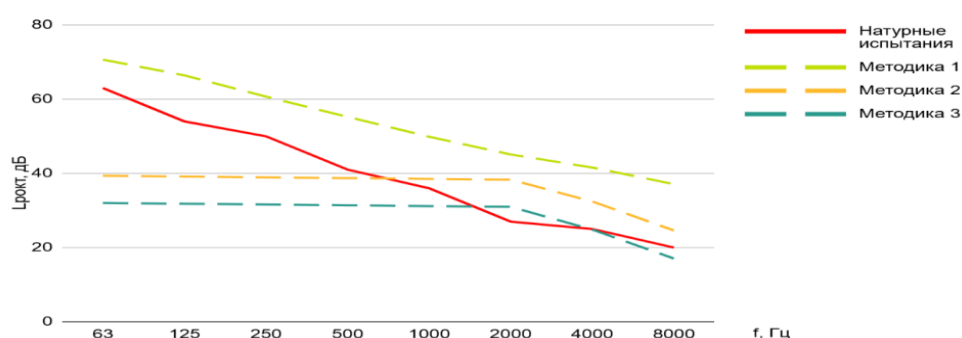


Рис. 3. Сравнительная диаграмма значений из каталога и рассчитанных по формулам

Fig. 3. Comparative diagram of permissible parameters in living rooms and calculated parameters from a single network element

Вывод. При расчете низкочастотного шума были выявлены значительные отклонения от данных натурных испытаний при применении методики 2 и 3. Методика 1 наоборот, показывает завышенные уровни звуковой мощности на всех октавных полосах, что дает необходимый запас, в случае увеличения угла поворота створки клапана при проведении пуско-наладочных работ.

Наибольшее среднее расхождение с результатами натурных испытаний прямого участка воздуховода с дросселирующим устройством было выявлено при расчете по ме-

тодике 3 (34,5%). Среднее процентное отклонение 1 и 2 методики составило 26,3% и 28,4 % соответственно. Недостатком формул методики 2 и 3 является то, что они не учитывают взаимное влияние фасонных элементов и акустическое воздействие присоединения воздуховода к дросселю, что приводит к необходимости дальнейшей верификации методик расчета для сложных систем и введению дополнительных поправок [17].

Инженерные решения систем вентиляции требуют анализа работы и проверки аэродинамических характеристик различных типов регулирующих устройств (дроссель-клапанов, ирисовых диафрагм, сопловых регуляторов, а также регуляторов постоянного расхода воздуха), поскольку они оказывают значительное влияние не только на уровень шума в помещениях, но и энергоэффективность и технологическую надежность систем [18-23]. Современные методы математического моделирования с использованием различных моделей турбулентности [24, 25] могут обеспечить точный прогноз уровней шумового воздействия.

Библиографический список:

1. Лешко М.Ю. К вопросу шумообразования дросселирующих устройств. *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. С. 82–86
2. Lan L., Sun Y., Wyon D.P., Wargocki P. Pilot study of the effects of ventilation and ventilation noise on sleep quality in the young and elderly. *Indoor air*. Vol. 31 (4). DOI: 10.1111/ina.12861
3. Rasmussen B., Carrascal T. Noise from ventilation systems in dwellings - Regulations and field test procedures in selected countries in Europe. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*. 2023. Vol. 265 (1). Pp. 6221-6229. DOI: 10.3397/IN_2022_0926
4. Kowalska-Koczwara A., Pachla F., Nering K. Environmental Protection Against Noise and Vibration. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1203. No. 032026. DOI: 10.1088/1757-899X/1203/3/032026
5. Nering K. Perception of Structure-Borne Sound in Buildings in Context of Vibration Comfort of Human in the Buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2020. Vol. 960. No. 022033. DOI: 10.1088/1757-899X/960/2/022033
6. Kopania J. M., Bogusławski G., Gaj P. Wójciak K. Acoustical parameters of the different fixing of blade ventilation damper into the duct. *10th Convention of the European Acoustics Association Turin, Italy*. 2024. Pp. 4575–4579. DOI: 10.61782/fa.2023.1192
7. Kopania J. M., Bogusławski G., Gaj P. Wójciak K. Aeroacoustical study of the serrated ventilation dampers. *Vibrations in Physical Systems*. 2022. Vol. 33(3). 2022313 DOI: 10.21008/j.0860-6897.2022.3.13
8. Гусев В.П. Еще раз о шумовых характеристиках вентоборудования и акустических возможностях шумоглушителей. *АВОК*. 2008. № 2. С. 48–55
9. Harvie-Clark J., Conlan N., Wei W., Siddall M. How loud is too loud? noise from domestic mechanical ventilation systems. *International Journal of Ventilation*. 2019. Vol. 18 (3). Pp. 1–10. DOI: 10.1080/14733315.2019.1615217
10. Абрамкина Д.В., Иванова А.О. Исследование уровней шума от вентиляционных систем в межквартирных коридорах жилых зданий. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. № 8 (11). С. 32-41. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-32-41
11. Fan X., Shao H., Sakamoto M. The effects of ventilation and temperature on sleep quality and next-day work performance: Pilot measurements in a climate chamber. *Building and Environment*. 2021. Vol. 209. No. 108666. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108666
12. Гусев В.П. Акустический расчет как основа для проектирования малозумной системы вентиляции (кондиционирования). *АВОК*. 2004. № 6. С. 60–68
13. Lucic M. CFD simulation of airflow through the throttle body of the air intake system applied to the Formula Student vehicle. *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials"*. 2023. Iss. 1. Pp. 7-11
14. Abramkina D.V. Noise from mechanical ventilation systems in residential buildings. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 457. 02007. DOI:10.1051/e3sconf/202345702007
15. Long M. Architectural Acoustics. 2014. 950 Pp. DOI: 10.1016/C2009-0-64452-4
16. Güngör F. Computer aided noise prediction in heating, ventilating and air conditioning systems. M. Sc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara. 2003. 196 P.
17. Chenzhi C., Cheuk M. M. Generalized flow-generated noise prediction method for multiple elements in air ducts. *Applied Acoustics*. 2018. Vol. 135. Pp. 136-141. DOI: 10.1016/j.apacoust.2018.02.008
18. Skorik T., Galkina N., Glazunova E. Verification of the ventilation dampers' aerodynamic characteristics. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 913 No. 042043. DOI: 10.1088/1757-899X/913/4/042043

19. Cicca, Gaetano and Marsilio, Roberto and Resta, Emanuele and Hassan, Jehangir and Ferlauto, Michele. *A Framework for Testing Differential Throttling in Linear Aerospike Nozzle*. 2024. Pp. 382-387. <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace61015.2024.10591557>
20. Lin, Bo-Chuan and Chang, Cheng and Yuan, Tony. *Observation of Air Throttling Applied in Supersonic Flow*. 2024. <https://doi.org/10.2514/6.2024-1614>
21. Liaposhchenko, Oleksandr and Bondar, Dmytro and Ochowiak, Marek and Pavlenko, Ivan and Włodarczyk, Sylwia. *Modeling of Separation with Drying Processes for Compressed Air Using an Experimental Setup with Separation-Condensation and Throttling Devices*. *Energies*. 2024. 17. 3129. <https://doi.org/10.3390/en17133129>
22. Basharina, T. and Pikalov, I. and Yeltsov, I. and Levin, V. *Investigation of influence of geometry of jet orifice of throttling device on formation of cavitation*. *Safety and Reliability of Power Industry* 2024. 16. Pp. 241-247. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2023-16-4-241-247>
23. Chang, Gao and He, Tianqi and Kaili, Xu and Yan, Shuhang. *Development of New Spiral Throttling Device*. 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8780-9_109
24. Nering K., Nering K. Validation of Modified Algebraic Model during Transitional Flow in HVAC Duct. *Energies*. 2021. Vol. 14. No 3975 DOI: 10.3390/en14133975
25. Lucic M. Design and CFD simulation of the exhaust manifold of the Formula Student vehicle. *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials"*. 2023. Iss. 2. pp. 54-57

References:

1. Leshko M.Yu. On the issue of noise generation of throttling devices. *Bulletin of MGSU*. 2011;3:82–86 (In Russ)
2. Lan L., Sun Y., Wyon D.P., Wargocki P. Pilot study of the effects of ventilation and ventilation noise on sleep quality in the young and elderly. *Indoor air*. Vol. 31(4). DOI: 10.1111/ina.12861
3. Rasmussen B., Carrascal T. Noise from ventilation systems in dwellings - Regulations and field test procedures in selected countries in Europe. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*. 2023; 265(1):6221-6229. DOI: 10.3397/IN 2022 0926
4. Kowalska-Koczwara A., Pachla F., Nering K. Environmental Protection Against Noise and Vibration. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1203:032026. DOI: 10.1088/1757-899X/1203/3/032026
5. Nering K. Perception of Structure-Borne Sound in Buildings in the Context of Vibration Comfort of Human in the Buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2020;960.No. 022033. DOI: 10.1088/1757-899X/960/2/022033
6. Kopania J. M., Bogusławski G., Gaj P. Wójciak K. Acoustical parameters of the different fixing of blade ventilation damper into the duct. *10th Convention of the European Acoustics Association Turin, Italy*. 2024; 4575–4579. DOI: 10.61782/fa.2023.1192
7. Kopania J. M., Bogusławski G., Gaj P. Wójciak K. Aeroacoustical study of the serrated ventilation dampers. *Vibrations in Physical Systems*. 2022; 33(3). 2022313 DOI: 10.21008/j.0860-6897.2022.3.13
8. Gusev V.P. Once again about the noise characteristics of ventilation equipment and the acoustic capabilities of silencers. *AVOK*. 2008V; 2: 48–55 (In Russ)
9. Harvie-Clark J., Conlan N., Wei W., Siddall M. How loud is too loud? noise from domestic mechanical ventilation systems. *International Journal of Ventilation*. 2019;18(3):1–10. DOI: 10.1080/14733315.2019.1615217
10. Abramkina D.V., Ivanova A.O. Study of noise levels from ventilation systems in inter-apartment corridors of residential buildings. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2022;8(11):32-41. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-32-41
11. Fan X., Shao H., Sakamoto M. The effects of ventilation and temperature on sleep quality and next-day work performance: Pilot measurements in a climate chamber. *Building and Environment*. 2021; 209(108666). DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108666
12. Gusev V.P. Acoustic calculation as a basis for designing a low-noise ventilation (air conditioning) system. *AVOK*. 2004;6: 60–68 (In Russ)
13. Lucic M. CFD simulation of airflow through the throttle body of the air intake system applied to the Formula Student vehicle. *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials"*. 2023;1:7-11
14. Abramkina D.V. Noise from mechanical ventilation systems in residential buildings. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 457. 02007. DOI:10.1051/e3sconf/202345702007
15. Long M. Architectural Acoustics. 2014; 950. DOI: 10.1016/C2009-0-64452-4
16. Güngör F. Computer aided noise prediction in heating, ventilating and air conditioning systems. *M. Sc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara*. 2003;196.
17. Chenzhi C., Cheuk M. M. Generalized flow-generated noise prediction method for multiple elements in air ducts. *Applied Acoustics*. 2018;135:136-141. DOI: 10.1016/j.apacoust.2018.02.008
18. Skorik T., Galkina N., Glazunova E. Verification of the ventilation dampers' aerodynamic characteristics. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020;913:042043. DOI: 10.1088/1757-899X/913/4/042043

19. Cicca, Gaetano and Marsilio, Roberto and Resta, Emanuele and Hassan, Jehangir and Ferlauto, Michele. *A Framework for Testing Differential Throttling in Linear Aerospike Nozzle*. 2024;382-387. <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace61015.2024.10591557>
20. Lin, Bo-Chuan and Chang, Cheng and Yuan, Tony. *Observation of Air Throttling Applied in Supersonic Flow*. 2024. <https://doi.org/10.2514/6.2024-1614>
21. Liaposhchenko, Oleksandr and Bondar, Dmytro and Ochowiak, Marek and Pavlenko, Ivan and Włodarczyk, Sylwia. *Modeling of Separation with Drying Processes for Compressed Air Using an Experimental Setup with Separation-Condensation and Throttling Devices*. *Energies*. 2024;17:3129. <https://doi.org/10.3390/en17133129>
22. Basharina, T. and Pikalov, I. and Yeltsov, I. and Levin, V. *Investigation of influence of geometry of jet orifice of throttling device on formation of cavitation*. *Safety and Reliability of Power Industry* 2024;16: 241-247. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2023-16-4-241-247>
23. Chang, Gao and He, Tianqi and Kaili, Xu and Yan, Shuhang. *Development of New Spiral Throttling Device*. 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8780-9_109
24. Nering K., Nering K. Validation of Modified Algebraic Model during Transitional Flow in HVAC Duct. *Energies*. 2021;14(3975) DOI: 10.3390/en14133975
25. Lucic M. Design and CFD simulation of the exhaust manifold of the Formula Student vehicle. *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials"*. 2023; 2:54-57

Сведения об авторах:

Абрамкина Дарья Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции; dabramkina@ya.ru; ORCID 0000-0001-8635-1669

Иванова Ангелина Олеговна, аспирант, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции; ivanova.angeli@yandex.ru; ORCID 0000-0003-4937-9843

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель, кафедра теплогазоснабжения; karpovdf@vogu35.ru; ORCID 0000-0002-3522-9302

Павлов Михаил Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент, кафедра теплогазоснабжения; pavlovmv@vogu35.ru; ORCID 0000-0002-8687-3296

Вафаева Христина Максудовна, инженер-исследователь, лаборатория самовосстанавливающихся конструкционных материалов; vafaeva.khm@gmail.com; ORCID 0000-0002-7422-5494

Information about authors:

Daria V. Abramkina, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Ventilation and Heat and Gas Supply; dabramkina@ya.ru; ORCID 0000-0001-8635-1669

Angelina O. Ivanova, Graduate Student, Department of Ventilation and Heat and Gas Supply; ivanova.angeli@yandex.ru; ORCID 0000-0003-4937-9843

Denis F. Karpov, Senior Lecturer, Department of Heat, Gas and Water Supply; karpovdf@vogu35.ru; ORCID 0000-0002-3522-9302

Mikhail V. Pavlov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Heat, Gas and Water Supply; pavlovmv@vogu35.ru; ORCID 0000-0002-8687-3296

Khristina M. Vafaeva, Research Engineer, Laboratory of Self-Healing Structural Materials; vafaeva.khm@gmail.com; ORCID 0000-0002-7422-5494

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare that there are no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/ Received 01.07.2024.

Одобрена после рецензирования / Revised 30.07.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 30.07.2024.