

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 691:699.844

Разработка метода шумопоглощения в авиационном двигателе

Е.В. Малая, Т.Ю. Петренко

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Статья посвящена проблеме авиационного шума, который негативно влияет на здоровье людей и экологическую ситуацию вблизи аэропортов. Исследуется, как снизить уровень шума с помощью новых материалов, выдвигая гипотезу о том, что гибридный материал «Аэросорб» может эффективно решать эту проблему. Разработан и протестирован ряд уникальных компонентов, объединяющих аэрогели, углеродные и кремниевые частицы. В результате исследований выяснено, что «Аэросорб» существенно снижает шум, обладая высокой прочностью и стойкостью к химическим воздействиям. Полученные результаты важны для дальнейших разработок в области экологии и авиации, делая статью актуальной для специалистов.

Ключевые слова: шумоподавление, авиационный шум, звукопоглощение, аэрогель, углеродные наночастицы, авиационный двигатель, вибрации, нанотехнологии, композитные материалы, экология

Для цитирования. Малая Е.В., Петренко Т.Ю. Разработка метода шумопоглощения в авиационном двигателе. *Молодой исследователь Дона*. 2026;11(1):9–13.

Development of Aircraft Engine Noise Reduction Method

Elena V. Malaya, Tatiana Y. Petrenko

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article studies the problem of aircraft noise, which has negative effect on human health and airport surrounding environment. The method of reducing the level of noise by using new materials is investigated based on the hypothesis of the efficiency of hybrid composite material “Aerosorb” in solving this problem. A range of unique components including aerogels, carbon and silicon nanoparticles were developed and tested. The research revealed that along with possessing high strength and chemical resistance, “Aerosorb” significantly reduces noise. The obtained results are important for future research in the field of ecology and aviation, which proves the relevance of the article for the specialists.

Keywords: noise reduction, aircraft noise, sound absorption, aerogel, carbon nanoparticles, aircraft engine, vibration, nanotechnologies, composite materials, ecology

For Citation. Malaya EV, Petrenko TYu. Development of Aircraft Engine Noise Reduction Method. *Young Researcher of Don*. 2026;11(1):9–13.

Введение. Авиационный шум представляет собой серьезную проблему как для пассажиров и экипажа воздушных судов, так и для окружающей среды, особенно в непосредственной близости от аэропортов. Основными источниками шума являются авиационные двигатели, аэродинамическое сопротивление и взаимодействие различных частей самолета с воздухом. Согласно статистике, уровень шума вблизи самолета может достигать 120–130 дБ, что значительно превышает безопасный порог для человеческого слуха и вызывает дискомфорт, а также экологические и социальные проблемы для населения, проживающего рядом с аэродромами. Это соответствует требованиям ГОСТ 22 283–2014 «Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения» [1].

Воздействие шума негативно сказывается на здоровье человека. Исследования показывают, что уровни шума, превышающие эквивалентный уровень звука, связаны с повышенным риском сердечно-сосудистых заболеваний, нарушениями сна, увеличением уровня стресса и снижением общего качества жизни [2]. Кроме того, шум может оказывать влияние на концентрацию и когнитивные функции, что особенно критично для пилотов и обслуживающего персонала.

Несмотря на достижения в области звукоизоляции, существующие технологии не всегда обеспечивают достаточную эффективность в условиях высоких температур, вибраций и воздействия агрессивных химических веществ. Традиционные материалы, такие как базальтовые и стекловолоконные покрытия, обладают хорошими звукоизолирующими свойствами, но теряют свои характеристики при экстремальных нагрузках, характерных для авиационных двигателей [3, 4]. Эти ограничения подчеркивают необходимость разработки новых материалов, которые будут сочетать в себе легкость, устойчивость к химическим воздействиям и способность эффективно снижать уровень шума. Учитывая все это, снижение уровня шума в авиации стало важной задачей для ученых и инженеров. Для этого необходимо разрабатывать и внедрять материалы, эффективно поглощающие звуковые волны, снижая уровень шума как на этапе взлета и посадки, так и в процессе полета. Разработка таких решений имеет высокую значимость для улучшения экологической ситуации, повышения безопасности и качества жизни.

Основная часть. Несмотря на большие успехи в области авиации, проблема шума до сих пор не решена полностью. Существующие методы снижения шума и вибраций, такие как звукоизоляционные экраны и специальные покрытия, имеют ограничения, связанные с массой и устойчивостью к агрессивным воздействиям.

В последние десятилетия в авиации было предложено множество методов для снижения уровня шума в двигателях, включая как пассивные, так и активные подходы, направленные на уменьшение воздействия шума на пассажиров и окружающую среду. Один из пассивных методов — использование звукопоглощающих покрытий внутри двигателей, разработанных, например, в Пермском политехническом университете. Их схемы показаны на рис. 1 и 2. Эти материалы эффективно поглощают звуковые волны и снижают общий уровень шума, но их эффективность ограничена на низких частотах [5].

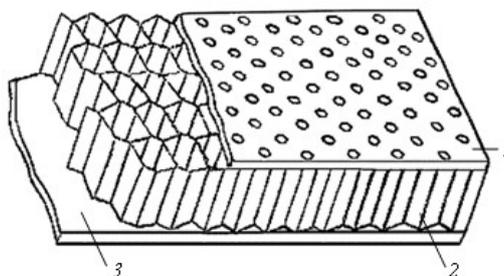


Рис. 1. Схематичное изображение однослойной звукопоглощающей конструкции [5]:
1 — перфорированный лист; 2 — сотовый наполнитель; 3 — неперфорированный лист

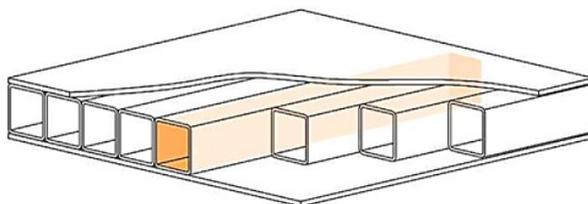


Рис. 2. Схематичное изображение панели с трубчатым наполнителем [5]

Шевронное выхлопное сопло, схема которого представлена на рис. 3, представляет собой другую пассивную технологию, которая снижает турбулентный шум, делая переход между горячим потоком газа и окружающим воздухом более плавным. Это решение не требует подвижных частей, но его эффективность зависит от режима работы двигателя [6].

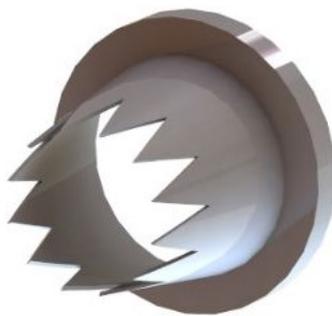


Рис. 3. Шевронное выхлопное сопло газотурбинного двигателя [7]

Активные системы шумоподавления используют датчики и динамики, которые создают звук в противофазе к шуму двигателя, эффективно гася его. Эти системы обеспечивают высокий уровень подавления шума, но требуют значительных затрат энергии и сложны в реализации и дороги для массового применения [8]. Помимо этого, контурные экраны вокруг вентилятора помогают уменьшить шум потока, что делает перелеты более комфортными для пассажиров, но также увеличивает вес самолета [9].

Таким образом, существующие методы снижения шума в авиации охватывают широкий спектр подходов — от пассивных методов с использованием звукопоглощающих и многослойных материалов до активных систем и инновационных конструктивных решений. Однако каждый из этих методов имеет свои ограничения, будь то увеличение массы, сложности в производстве или высокая стоимость.

Разработка материала «Аэросорб». Идея создания материала «Аэросорб» возникла в ответ на вышеописанные проблемы. Этот материал является гибридом аэрогеля, углеродных наночастиц и пористых кремниевых микрочастиц, что придает ему уникальные характеристики, которые соответствуют требованиям авиационной отрасли. Его изображение представлено на рис. 5.



Рис. 5. Аэрогель [10]

Химический состав и структура. Аэрогели привлекли внимание благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам и уже используются в ряде высокотехнологичных применений, включая изоляцию в космических технологиях и авиации [11]. Это легкий и пористый материал с невероятно низкой плотностью ($0,1\text{--}0,15\text{ г/см}^3$) и хорошими звукоизоляционными свойствами.

Добавление углеродных наночастиц (например, нанотрубок или графена) направлено на усиление механических свойств аэрогелей [12]. Эти наноматериалы обладают отличной прочностью и применяются в различных композитах, повышая их структурные характеристики и улучшая акустические свойства.

Кремниевые микрочастицы — это распространенные компоненты в материалах, которые защищают от высоких температур. Они устойчивы к химическому воздействию и обладают хорошей термостойкостью. Кремний может использоваться в сочетании с другими материалами для повышения механической прочности и улучшения акустических характеристик.

Комбинирование этих трех компонентов — аэрогеля, углеродных наночастиц и пористых кремниевых микрочастиц — создает материал с уникальными свойствами. Каждый компонент усиливает свойства другого: аэрогель обеспечивает низкую плотность и высокую эффективность в поглощении звука, но его прочность ограничена; углеродные наночастицы добавляют термостойкость и прочность, усиливая акустические характеристики и помогая поглощать низкочастотные звуковые волны; пористые кремниевые частицы повышают механическую прочность материала и делают его более устойчивым к внешним химическим воздействиям.

Рассмотрим свойства и преимущества рекомендуемого материала. Аэросорб эффективно поглощает звуковые волны в диапазоне низких и средних частот, что критически важно для снижения уровня шума, создаваемого авиационными двигателями. Это достигается благодаря уникальной структуре аэрогеля и добавлению углеродных наночастиц. Слой материала толщиной всего $0,5\text{--}1\text{ мм}$ достаточно эффективен для поглощения шума, что позволяет использовать его в ограниченных пространствах с минимальным увеличением массы конструкции. Углеродные наночастицы увеличивают прочность на сжатие и растяжение. Пористый кремний может немного снизить механическую прочность, но обеспечит дополнительную жесткость. Ожидаемая прочность: лучше, чем у чистого аэрогеля ($10\text{--}50\text{ кПа}$), возможно, до $100\text{--}200\text{ кПа}$. Углеродные наночастицы добавляют химическую стойкость к окислению и коррозии.

Для сохранения оптимальных свойств рекомендуется использовать жидкие прекурсоры аэрогеля и кремния для равномерного распределения углеродных наночастиц в структуре, что обеспечит однородность материала и улучшит эксплуатационные характеристики. Базовый состав должен составлять 60 % аэрогеля, 15 % углеродных наночастиц и 25 % пористого кремния, что обеспечит оптимальный баланс между звукоизоляцией, химической стойкостью и прочностью. Поскольку материал планируется использовать в качестве покрытия, рекомендуется добавить 5–10 % полимерного связующего, например, метакрилоксипропилтриметоксисилан (MPS) [13]. Это улучшит адгезию к поверхностям и повысит долговечность.

Аэрогель в виде суспензии (геля) смешивается с добавками для адгезии, после чего наносится с помощью пульверизатора, обеспечивая равномерное покрытие и минимальную толщину слоя около 0,5 мм. Полимеризация происходит при комнатной температуре (около 20–25 °С). Использование катализаторов или связующих может изменить условия, сокращая время и температуру сушки.

Заключение. Разработка рекомендаций и теоретическое обоснование применения материала «Аэросорб» в авиационных двигателях является важным шагом в решении проблемы авиационного шума и повышения надежности работы двигателей. Этот материал, благодаря своей уникальной структуре, представляет собой гибрид, который сочетает в себе лучшие качества аэрогелей, углеродных наночастиц и кремниевых микрочастиц. В результате такого сочетания получается материал, который эффективно поглощает низкочастотный шум и обладает высокой термостойкостью, что делает его пригодным для работы в экстремальных температурах авиационных двигателей. Его способность к снижению вибраций и устойчивость к воздействию химических веществ, таких как топливо и масла, делают его универсальным решением для различных частей двигателя, включая турбину, выхлопные патрубки и элементы компрессора. Внедрение «Аэросорб» в конструкцию авиационных двигателей позволит снизить уровень шума, улучшить экологические характеристики и повысить долговечность компонентов.

В будущем, с развитием технологий производства и тестирования, «Аэросорб» может стать важным элементом в создании более экологичных и комфортных воздушных судов, что принесет значительные преимущества как в плане уменьшения воздействия на окружающую среду, так и в повышении безопасности и комфорта пассажиров.

Список литературы

- ГОСТ 22283-2014. *Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения*. URL: https://ntm.ru/UserFiles/File/document/SHUM/NORM/GOST_22283-2014.pdf (дата обращения: 27.12.2025).
- Ануфриков М.С. *Проблема авиационного шума в современном мире*. ЦЭИИС. URL: <https://ceiis.mos.ru/presscenter/nauchno-publitsisticheskie-stati/detail/11697556.html> (дата обращения: 27.12.2025).
- Оснос С.П., Федотов А.А. *Возможности и перспективы развития отрасли производства базальтовых непрерывных волокон*. Композитный мир. URL: <https://compositeworld.ru/articles/market/id63663faefb445b0019831bce> (дата обращения: 27.12.2025).
- Аврасин Я.Д., Бородин М.Я., Киселев Б.А. *Стеклопластик в авиационной промышленности*. 1982;(8):80–84.
- Шульдешов Е.М., Краев И.Д., Образцова Е.П. *Материалы для звукопоглощающих конструкций авиационных двигателей (обзор)*. ТРУДЫ ВИАМ. 2021;7(101):59–72. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1723 (дата обращения: 27.12.2025).
- Брауш Д.Ф., Янардар Б.А., Бартер Д.В. IV, Хофф Г.Э. *Шевронное выхлопное сопло*. Заявка на изобретение RU 98116376 А. 2000. 1 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0098116376_20000720_A_RU/?ysclid=mkfbp4glxs71682906 (дата обращения: 27.12.2025).
- Шевронное сопло*. Авиация России. URL: <https://aviation21.ru/wp-content/uploads/2024/03/type-of-soplo.jpg> (дата обращения: 27.12.2025).
- Мартыненко Н.С. *Много шума для тишины. Как развивались системы активного шумоподавления и каковы их возможности*. N+1. URL: <https://nplus1.ru/material/2020/08/03/active-noise-control> (дата обращения: 27.12.2025).
- Кузнецов В.В., Мунин А.Г., Самохин В.Ф. *«Зелёный» самолёт*. Наука и жизнь. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/15474/> (дата обращения: 27.12.2025).
- What is the Lightest Substance in the World*. URL: <https://storage.googleapis.com/djgyunqtsakke/what-is-the-lightest-substance-in-the-world.html> (дата обращения: 05.11.2025).
- Jarman S. *Meringue-Like Material Offers Lightweight Soundproofing for Aircraft Engines*. *Physics World*. URL: <https://physicsworld.com/a/meringue-like-material-offers-lightweight-soundproofing-for-aircraft-engines/> (дата обращения: 05.12.2025).
- Ильченко С.И., Гуняев Г.М., Алексашин В.М., Пономарев А.Н., Комарова О.А., Деев И.С. *Углеродные наночастицы структурные модификаторы и упрочнители полимеров и полимерных композитов*. *Авиационные материалы и технологии*. 2004;(2):36–54.

13. Yang W, Zhu L, Yichi C. One-Step Fabrication of 3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane Modified Silica and Investigation of Fluorinated Polyacrylate/Silica Nanocomposite Films. *Royal Society of Chemistry*. 2015;5(73):58973–58979. <https://doi.org/10.1039/C5RA10535H>

Об авторах:

Татьяна Юрьевна Петренко, студент кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), tormak282003@gmail.com

Елена Викторовна Малая, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), elevicma@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Tatiana Y. Petrenko, Student of the Department of Technical Operation of Aircraft and Ground Equipment, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), tormak282003@gmail.com

Elena V. Malaya, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technical Operation of Aircraft and Ground Equipment, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), elevicma@mail.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.