

Повышение эффективности системы шумоглушения авиадвигателя с использованием реактивного элемента

Халецкий Ю.Д., Почкин Я.С.

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

e-mail: yurikhalet@ciam.ru

Разработана конструкция глушителя шума вентилятора авиационных двигателей в виде комбинации сотовых двухслойных звукопоглощающих конструкций и реактивного элемента в виде решетки пластин. Экспериментально показано, что в частотном диапазоне наибольшей чувствительности человеческого уха комбинированный глушитель снижает шум вентилятора на 2...3 дБ больше, чем традиционные сотовые двухслойные звукопоглощающие конструкции той же длины. Исследован вариант реактивного элемента глушителя в виде щелевого надроторного устройства, и оценено его влияние на шум биротативного закапотированного вентилятора.

Ключевые слова: реактивный элемент, щелевое надроторное устройство, сотовые звукопоглощающие конструкции, вентилятор.

Using of reactive element for aviation engine noise reduction

Khaletskii Yu.D., Pochkin Y.S.

CIAM, Moscow

Developed liner combines the traditional honeycomb liner and the reactive element in the form of a lattice of plates. Experiments have shown that the combined liner reduces the fan noise by 2...3 dB more effective than the two-layer honeycomb liners of the same length. The effect of the casing treatments on the fan noise of modern aircraft engine was investigated.

Keywords: reactive element, slot casing treatment, honeycomb liner, turbofan.

Введение

Для снижения шума вентилятора турбореактивных двухконтурных двигателей (ТРДД) используют сотовую звукопоглощающую облицовку, которая эффективна при поглощении мод высокого порядка, но малоэффективна в случае мод низкого порядка (т. е. волновых фронтов, распространяющихся вдоль канала под малыми углами относительно его стенок). При таком распространении моды низкого порядка редко взаимодействуют со звукопоглощающими конструкциями (ЗПК), поэтому для их ослабления требуется большая длина акустической облицовки, чем позволяет конструкция канала авиадвигателя. В результате снижение шума путем использования ЗПК фактически ограничено модами относительно высоких номеров. При ограничениях на размеры системы шумоглушения оптимальной представляется комбинированная система, решающая задачи как поглощения, так и отражения звука. Таким системам уделяется повышенное внимание в настоящее время [1–3].

Комбинированные облицовки содержат секции поглощающих и секции реактивных элементов (рис. 1), причем последние трансформируют акустические моды низких номеров частично в набор мод высоких номеров. Расположенные ниже по течению ЗПК поглощают созданные моды высоких номеров и рассеивают их энергию в теплоту.

В качестве реактивных элементов глушителя используют разнообразные конструкции, включая решетчатые резонансные структуры, например, разработанный в ЦИАМе решетчатый глушитель [3], сотовые ЗПК с большой степенью перфорации лицевого листа, разного рода кольцевые полости на стенке канала и т. д. Возможен вариант реализации реактивного глушителя в виде установки надроторного щелевого устройства. Отличительной особенностью реактивных элементов является импеданс с малой действительной частью (малым сопротивлением лицевого листа) и с малой мнимой частью (реактансом). Предполагается, что при импедансе около нуля или по крайней мере

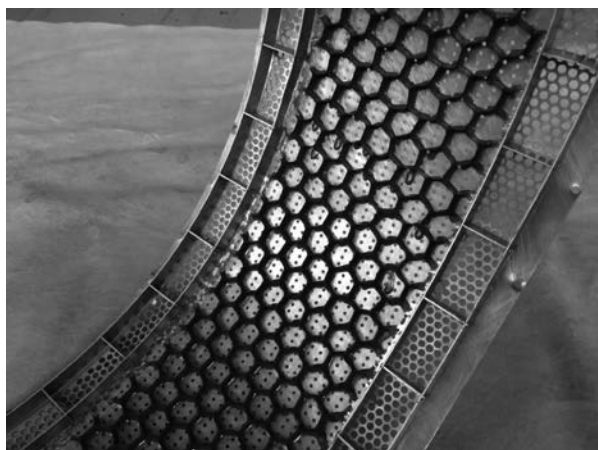


Рис. 1. Комбинированный глушитель

менее $0,5rc$ (ρ – плотность воздуха; c – скорость звука в воздухе) обеспечивается трансформация части мод низких номеров в моды высоких номеров.

Высокочастотный и широкополосный шум вентиляторов ТРДД, как правило, переносится набором нескольких основных энергонесущих азимутальных вращающихся мод, что справедливо даже для основной роторной частоты вентилятора, акустическая энергия которой связана преимущественно с шумом ударных волн. Решетчатые конструкции, установленные в каналах кольцевого или круглого сечения, препятствуют распространению вращающихся акустических мод, переносящих основную часть шума.

Изолированный решетчатый глушитель обеспечивает близкий к единице коэффициент отражения вращающихся азимутальных мод, несмотря на то что его решетка расположена заподлицо со стенкой воздухозаборного канала. В результате снижение шума на частоте следования лопаток в диапазоне режимов свыше 0,7 номинала составляет 6...13 дБ. При уменьшении осевой протяженности решетчатого глушителя его осредненная по режимам эффективность на частоте следования лопаток понижается, однако все равно остается достаточно высокой. При длине ниже 0,1 калибра канала эффективность решетчатого глушителя выше эффективности участка двухслойной ЗПК той же длины.

Цель данной работы – экспериментальное подтверждение эффективности применения реактивных элементов в составе системы шумоглушения ТРДД для повышения погонной акустической эффективности глушителя.

Акустическая эффективность комбинированных глушителей

Акустические характеристики различных конфигураций комбинированных глушителей, состоящих из сотовых ЗПК и реактивных элементов, исследованы на модели вентилятора ТРДД.

Испытаны два типа глушителей излучаемого в переднюю полусферу шума:

- однородные сотовые ЗПК;
- комбинированные, состоящие из сотовых ЗПК и реактивных элементов.

Относительная длина глушителей перед рабочим колесом вентилятора составляет около $1/2$ калибра, что соответствует длине акустической облицовки в воздухозаборниках современных ТРДД. В комбинированном глушителе длина реактивной части приблизительно равна $1/4$ калибра.

Основная часть акустической энергии, излучаемой вентилятором, сосредоточена на частоте следования лопаток и ее гармониках, поэтому в качестве критерия оценки эффективности различных конфигураций глушителей использована величина снижения суммарного уровня шума в частотном диапазоне 2,5...20 кГц, который содержит наиболее энергонесущие составляющие шума вентилятора.

Сравнение полученных спектров показало, что на представляющем практический интерес сверхзвуковом режиме 0,9 номинала, на частоте следования и в диапазоне излучения шума ударных волн комбинированные глушители имеют на 2...3 дБ большую эффективность, чем однородные сотовые глушители той же длины (рис. 2).

Для определения акустических характеристик сотового и комбинированного глушителей шума при их расположении в канале наружного контура ТРДД, проведены испытания на стенде Ц-ЗА ЦИАМа. Источник шума – модель широкохордного вентилятора перспективного двигателя. Комбинированный глушитель состоял из двух реактивных решетчатых элементов, между которыми расположен участок, облицованный двухслойными сотовыми ЗПК. Решетчатые элементы глушителя закрыты акустически прозрачным перфорированным листом. Сравнение акустической эффективности комбинированного глушителя и глушителя, состоящего из панелей с двухслойными ЗПК, при размещении в канале наружного контура ТРДД показано на рис. 3.

Для сравнительной оценки влияния комбинированной и сотовой систем шумоглушения на уровне эффективно воспринимаемого шума модельного самолета экспериментальные матрицы шума, полученные в заглушенной камере стенда Ц-ЗА, были скорректированы для полноразмерного двигателя. Коэффициент моделирования составлял 2,71. Использована частотная коррекция уровней шума и поправка, учитывающая линейную зависимость уровня шума в дальнем поле от расхода воздуха. Расчеты уровней шума самолета показали, что эффективность комбинированного глушителя до 3,5 EPNdB выше, чем у однородных сотовых ЗПК.

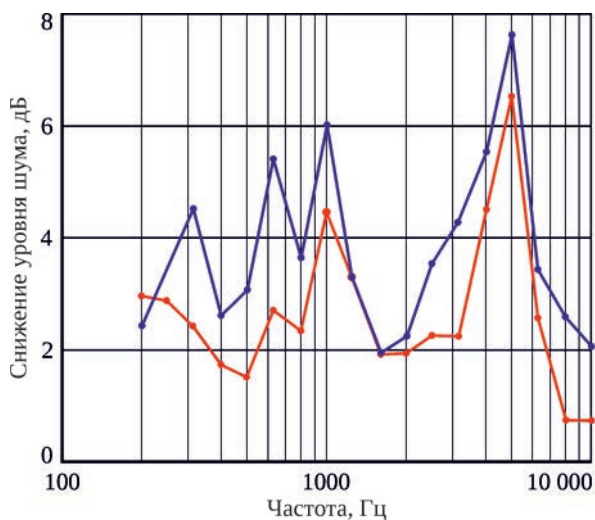
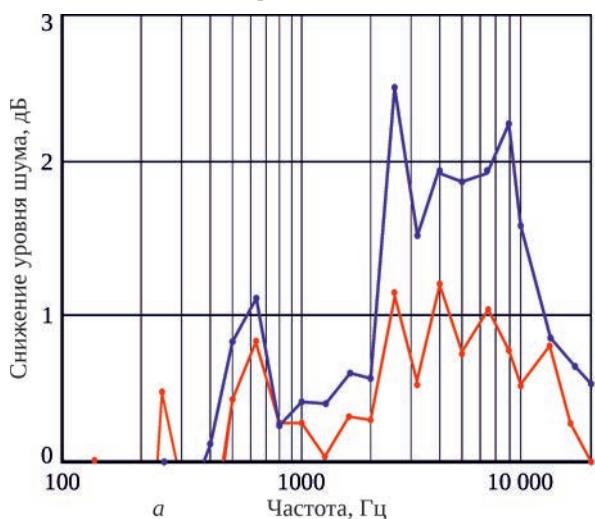
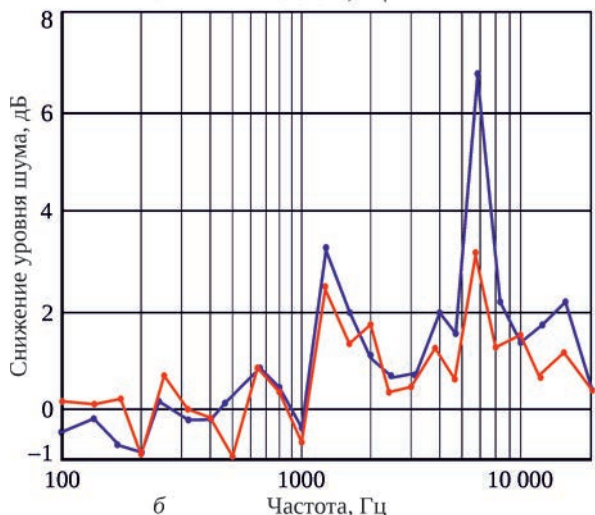


Рис. 2. Сравнение спектров снижения уровня шума модели вентилятора при установке в воздухозаборнике глушителей различных типов:

— — комбинированный; — — сотовый



а



б

Рис. 3. Сравнение спектров снижения уровня шума модели вентилятора на режиме «набор высоты» (а) и «взлет» (б) при установке в канале наружного контура глушителей различных типов: — — комбинированный; — — сотовый

Снижение шума вентилятора путем установки надроторного устройства

Альтернативной реализацией реактивного глушителя являются надроторные устройства (НРУ), исходно применяемые в компрессорах для повышения газодинамической устойчивости. В числе самых рациональных конструкций НРУ – щелевая проставка (рис. 4), размещаемая над рабочим колесом [4].

Акустическая эффективность НРУ исследована на примере размещения НРУ щелевого типа над вторым рабочим колесом закапотированного биротативного вентилятора. Эксперименты проведены на стенде с большой заглушенной камерой [5], что позволило определить акустические характеристики модели вентилятора одновременно в передней и задней полусферах на различных режимах его работы: «взлет», «набор высоты» и «посадка».

На рис. 5 представлены результаты испытаний для нескольких конфигураций НРУ, отличающихся параметрами решетки (\bar{D} – коэффициент заполнения; \bar{H} – безразмерная высота полости).



Рис. 4. Надроторное устройство щелевого типа

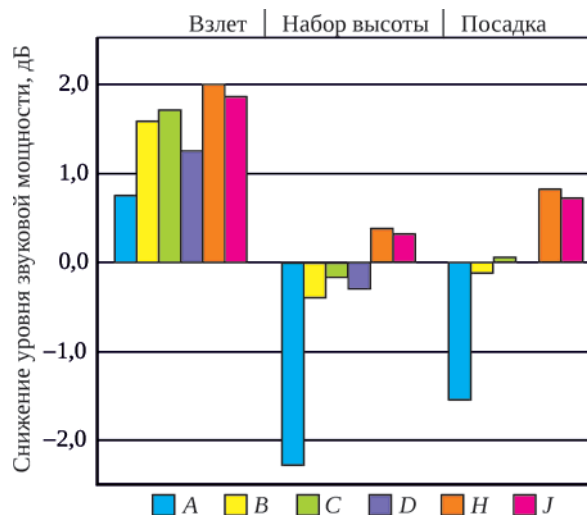


Рис. 5. Акустическая эффективность реактивного элемента в виде НРУ, установленного над вторым рабочим колесом биротативного вентилятора:

A – { $D=0,25$; $\bar{H}=0,71$ }; B – { $D=0,50$; $\bar{H}=0,71$ };
 C – { $D=0,50$; $\bar{H}=0,53$ }; D – { $D=0,50$; $\bar{H}=0,33$ };
 H – { $D=0,68$; $\bar{H}=0,71$ }; J – { $D=0,68$; $\bar{H}=0,62$ }

Видно, что акустическая эффективность НРУ повышается с ростом коэффициента заполнения решетки на всех рассмотренных режимах работы вентилятора. Повышение коэффициента заполнения выше 0,68 нецелесообразно по соображениям сохранения прочности конструкции НРУ.

Следует отметить, что при коэффициенте заполнения, равном 0,25, на режимах «набор высоты» и «посадка» установка НРУ вместо ожидаемого снижения шума вентилятора приводит к его значительной генерации, что неприемлемо для практического использования.

Заключение

Предложенные варианты комбинированного глушителя и глушителя в виде НРУ могут быть рекомендованы для перспективных ТРДД для снижения шума вентиляторной ступени.

По результатам модельных экспериментов видно, что применение реактивных элементов в конструкции системы шумоглушения авиационного двигателя ведет к значимому повышению ее акустической эффективности.

Литература

1. Hubbard H.H. ed. Aeroacoustics of Flight Vehicles // Acoustical Society of America through the American Institute of Physics, 1995.
2. Поварков В.И., Халецкий Ю.Д., Шипов Р.А. Патент № 2396441. Глушитель шума, 2010.
3. Халецкий Ю.Д. Эффективность комбинированных глушителей шума авиационных двигателей. Акустический журнал, 2012. Т. 58, № 4. С. 556–562.
4. Gelmedov F.S., Lokshtanov E.A., Olshtein L.E., Sidorkin M.A. European Patent specification No EP 0688 400 B1, 1997.
5. Коржнев В.Н., Поварков В.И., Халецкий Ю.Д. Методические проблемы измерения шума моделей вентиляторов в заглушенной камере стенда Ц-3А ЦИАМ. Экологические проблемы авиации. М.: Торус пресс, 2010. С. 83–100.

References

1. Hubbard H.H. ed. Aeroacoustics of Flight Vehicles // Acoustical Society of America through the American Institute of Physics, 1995.
2. Povarkov V.I., Khaletskii Yu.D., Shipov R.A. Patent RF No. 2396441. Glushitel' shuma [The noise silencer]. 2010.
3. Khaletskii Yu.D. Effektivnost' kombinirovannykh glushitelei shuma aviatsionnykh dvigatelei. Akusticheskii zhurnal [Efficiency of combined liner for aviation engine noise reduction. Acoustic Journal]. 2012. Vol. 58. No. 4. P. 556–562.
4. Gelmedov F.S., Lokshtanov E.A., Olshtein L.E., Sidorkin M.A. European Patent specification No EP 0688 400 B1, 1997.
5. Korzhnev V.N., Povarkov V.I., Khaletskii Yu.D. Metodicheskie problemy izmereniia shuma modelei ventiliatorov v zaglushennoi kamere stenda Ts-3A TsIAM. Ekologicheskie problemy aviatsii. Moscow: Torus press, 2010. P. 83–100.