

Необходимость и пути снижения шума агрегатов самолета

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Рассмотрены требования, которые предъявляются к самолетам по условиям экологии. Проведен анализ последствий введения международными экологическими организациями новых нормативных документов по шуму пассажирских самолетов в окрестностях аэропортов. Подчеркнута необходимость развития новых методов уменьшения авиационного шума. Проанализированы характеристики основных источников шума агрегатов пассажирских самолетов различного типа. Предложены конструктивные пути увеличения эффективности систем шумоглушения силовых установок, агрегатов планера и шасси на уменьшение внешнего и внутреннего шума самолетов.

Ключевые слова: авиационный шум, требования по шуму ИКАО, уровень шума, звукопоглощающие конструкции, шумоглушащие устройства, аэродинамический шум.

Введение

Проблемы снижения авиационного шума, проявившиеся в середине прошлого столетия в связи с началом интенсивной эксплуатации реактивных пассажирских самолетов, продолжают оставаться актуальным и составляют важную часть общих проблем обеспечения экологической безопасности. Созданные в последние годы и разрабатываемые перспективные пассажирские самолеты менее шумны по сравнению с самолетами, созданными на первоначальном этапе развития гражданской авиации. Однако в связи с наблюдающимся ростом объема воздушных перевозок и увеличением интенсивности эксплуатации самолетов экологическая ситуация в аэропортах существенно не улучшается и в последующие десятилетия может даже ухудшиться и не произойдет совершенствования технологий борьбы [1]. Поэтому шум пассажирских самолётов на местности ограничен национальными стандартами и стандартами Международной организации гражданской авиации ИКАО, а шум в салоне - национальными стандартами. Уровни шума пассажирских самолетов в настоящее время во многом определяют их конкурентоспособность и являются важной технической характеристикой. Цель данной работы заключается в том, чтобы точнее проанализировать локальные источники шума и предложить пути его снижения в конкретном отдельном агрегате самолета путем использования новых конструктивных решений, обеспечивающих нормируемые уровни шума внутри самолета и за его бортом.

Источники шума на самолете

Реактивный двигатель является сложным источником шума. Акустическое излучение генерируется во всех элементах двигателя: вентиляторе, компрессоре, камере сгорания, турбине и в реактивном сопле (рис. 1) [2]. Мощным источником шума служит реактивная струя, излучение которой образуется при ее смешении с окружающей средой, т. е. вне двигателя.

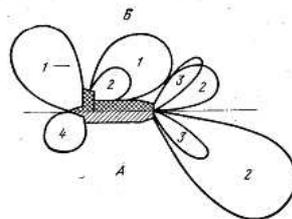


Рис. 1. Основные источники шума реактивных двигателей на взлетном режиме:
 А - ТРД; Б - ТРДД; 1 - вентилятор; 2 - струя; 3 - турбина; 4 - компрессор

К внутренним источникам шума газотурбинного двигателя относятся все источники акустического излучения, расположенные в тракте газогенератора, за исключением вентилятора, компрессора, турбины и реактивной струи. Камера сгорания создает широкополосный низкочастотный шум, обусловленный турбулентным горением и резонансными явлениями в камере сгорания, а также взаимодействием потока на выходе из камеры сгорания с лопатками турбины. Обтекание потоком различных конструкций в тракте двигателя также приводит к возникновению широкополосного шума. Шум этих источников испытывает дифракцию на кромке сопла, рассеяние и преломление при пересечении пограничного слоя струи и направлен преимущественно в заднюю полусферу двигателя.

Шум винта состоит из двух компонентов: шума от вращения, который имеет частоту, равную числу оборотов в секунду, умноженную на число лопастей винта, и шума от вихрей. Основным является шум от вращения, который имеет низкую частоту.

Шум обтекания элементов планера определяется пульсациями параметров турбулентных потоков в щелевых объемах, образуемых предкрылками и закрылками при взлетно-посадочных режимах полета, в пограничных слоях на поверхностях обшивки и в следах за элементами планера самолета (рис. 2). Шум наибольшей интенсивности образуется при обтекании шасси, закрылков задней кромки и прорезей передней кромки крыла.

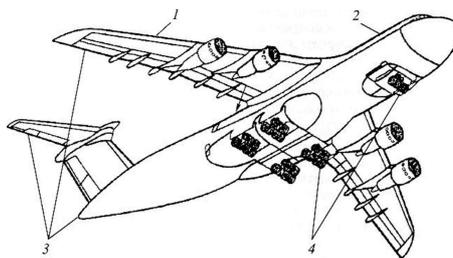


Рис. 2. Зоны шумов обтекания планера самолета:
 1 - обтекание предкрылков и отрыв потока от поверхности; 2 - пограничный слой на поверхности фюзеляжа; 3 - турбулентные следы и вихревые образования за задней кромкой крыла, закрылками, фюзеляжем и хвостовым оперением, 4 - обтекание шасси

При выпущенной механизации крыла из-за вихревых течений в щелевой области создается значительный аэродинамический шум, который доставляет сильное беспокойство, особенно вблизи земли.

Нормирование уровней шума

В 70-е годы в связи с внедрением в гражданскую авиацию турбореактивных двигателей с высокой степенью двухконтурности произошло снижение шумности самолетов. В ответ на это в 1978 году появились новые, более жесткие, требования к уровням шума, сформулированные в главе 3 тома 1 приложения 16. В соответствии с действующими нормами главы 3 уровни шума реактивных и винтовых пассажирских самолетов с величиной взлетной массы свыше 8618 кг ограничиваются в трех контрольных точках на местности, расположенных, соответственно, сбоку от ВПП и под траекториями взлета и захода на посадку (рис. 3). Исходные нормы шума представлены в табл. 1.

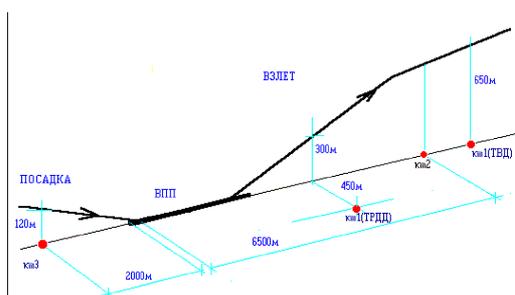


Рис. 3. Расположение контрольных точек нормируемого шума на местности [3]

Табл. 1. Исходные нормы шума главы 3 тома 1 [4]

М - максимальная взлетная масса, т		20,2	28,6	35	48,1	280	385	400
Уровень шума сбоку ВПП (EPN дБ)		94			80,87 + 8,51		103	
					lg M			
Шум при заходе на посадку (EPN дБ)		98			86,03 + 7,75 lg M		105	
Уровни пролетного шума (EPN дБ)	1 или 2 двигателя	89			66,65 + 13,29		101	
					lg M			
	3 двигателя	89		66,65 + 13,29 lg M			104	
	4 двигателя или больше	89		71,65 + 13,29 lg M			106	

В 2001 г. в ИКАО завершена разработка нового стандарта по шуму самолетов, предусматривающего ужесточение с 01.01.2006 г. нормативных требований по шуму на местности или принятие новых норм главы 4 приложения 16. Требования новой главы 4 тома 1 приложения 16 "Авиационный шум":

- Стандарт распространяется на дозвуковые и тяжелые винтовые самолеты, проходящие сертификацию по шуму после 01.01.2006 г.
- Шум самолета должен быть ниже существующих требований главы 3 приложения 16 без использования принципа компенсации.
- Совокупный уровень шума в трех контрольных точках не должен превышать суммы норм главы 3, уменьшенных на 10 EPN дБ.
- В каждой из двух любых точек контроля шума запасы относительно норм Главы 3 должны быть не менее 2 EPN дБ.

При этом в качестве уточняющего фактора уместно использовать величину запаса (или превышения) относительно норм главы 3 по сумме уровней в трех контрольных точках (например, категория "самолетов главы 3 с запасами до 5 дБ).

После 2005 г. увеличился спрос со стороны отечественных авиакомпаний на новые типы магистральных и региональных самолетов, большинство из которых должно будет соответствовать требованиям главы 4 стандарта по шуму.

Национальные технические нормы шума воздушных судов, как правило, гармонизированы с международными нормами и существуют в виде отдельных частей к Нормам летной годности воздушных судов (Авиационных правил). В России это АП-36, в США – FAR-36, в Европейском Союзе – CS-36. На рис. 4 показаны нормы на местности винтовых самолетов (стандарты ИКАО, АП-36, FAR-36).

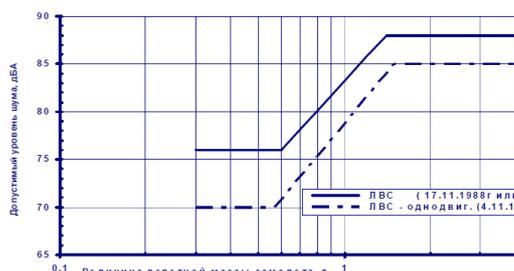


Рис. 4. Нормы шума на местности для винтовых самолетов [4]

Пути снижения шумов в зонах их появления) В силовой установке

При анализе основных методов снижения шума в силовой установке самолета рассматриваются следующие два основных направления:

- борьба с шумом в источнике, то есть воздействие на генерацию шума элементами двигателя – лопаточными машинами, камерой сгорания, и на генерацию шума реактивной струей;
- снижение интенсивности излучения в процессе его распространения по каналам двигателя и по воздухозаборному каналу.

При этом по каждому из обозначенных направлений могут применяться как пассивные, так и активные методы борьбы с шумом. На рис. 5 рассмотрены основные направления проводимых исследований по повышению акустической эффективности системы шумоглушения силовой установки для перспективного самолета.

) Снижения шума от струи двигателя

В настоящее время разработана схема акустического воздействия на струю с помощью излучения, генерируемого несколькими расположенными вокруг основной струи параллельными струйками, диаметр сопел которых примерно на порядок меньше диаметра сопла основной струи, а скорость истечения равна скорости истечения газа из основного сопла. Такой систему струй можно реализовать при истечении из одного ресивера как основной струи, так и вспомогательных периферийных струй (рис. 6).

Шум, генерируемый периферийными струями, воспринимается основной струей как высокочастотное возбуждение. Акустическая эффективность

предложенного шумоглушащего устройства, определенная по испытаниям на модельных струях, составляет 2-3 дБ в звуковом диапазоне частот.

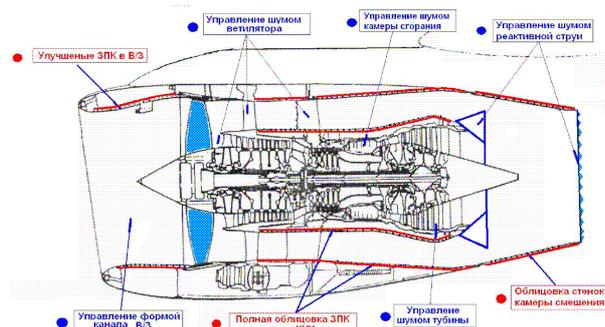


Рис. 5. Основные направления проводимых исследований по повышению акустической эффективности системы шумоглушения силовой установки

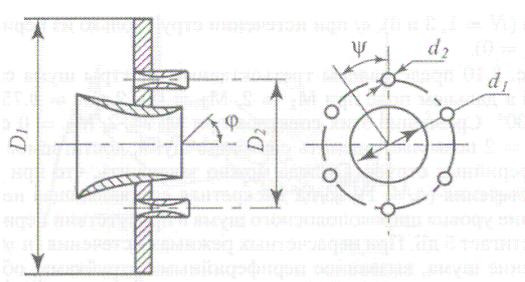


Рис. 6. Система основной струи и вспомогательных периферийных струй

Одним из ключевых вопросов при разработке новых силовых установок является вопрос снижения шума двигателя в задней полусфере. Для этого предлагается обрабатывать особым образом выходное сопло двигателя. Такая обработка сопла двигателя носит название шевронной обработки, а сами зубцы называют шевронами (рис. 7). При этом в области максимума спектра шума струи это снижение достигает величины $\Delta L = 4-5$ дБ как при отсутствии спутного потока, так и при его наличии (рис. 8).

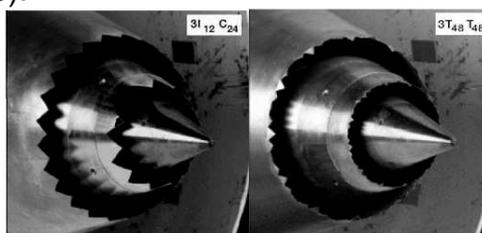


Рис. 7. Примеры неуправляемых шевронов

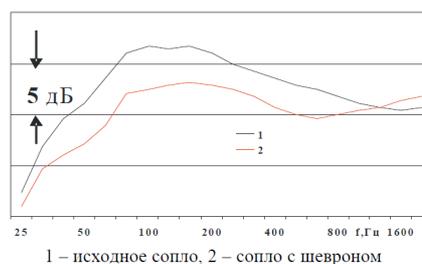


Рис. 8. Уменьшение шума с применением шевронов

При установке на срезе сопла многотрубчатого насадка, то есть при замене исходной струи несколькими более мелкими струйками, происходит снижение общей акустической мощности выхлопного потока, уменьшение доли низкочастотных и увеличение доли высокочастотных составляющих в спектрах шума (рис. 9).

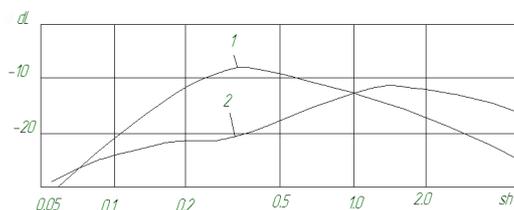


Рис. 9. Снижение шума струи при применении многотрубчатого насадка $d = 0,2D$, 1 — исходная струя; 2 — сопло с многотрубчатым насадком

) Снижение шума путем применения звукопоглощающих конструкций

Системы шумоглушения силовых установок современных самолетов основаны на применении в каналах мотогондол и двигателей звукопоглощающих конструкций с резонансными или объемными поглотителями и являются сегодня наиболее эффективным методом снижения интенсивности шума, генерируемого лопаточными машинами турбореактивного двигателя. В практике снижения шума пассажирских самолетов широкое применение получили резонансные, так называемые «сотовые», звукопоглощающие конструкции, состоящие из обращенного к потоку перфорированного листа, жесткого непроницаемого основания и воздушной полости между ними, разделенной на отдельные ячейки сотовым наполнителем (рис. 10).

Сотовый наполнитель препятствует рециркуляции воздуха через перфорированный лист, возникающей за счет градиентов пристеночного давления в проточной части силовой установки, и тем самым уменьшает потери давления. Обычно в глушителях шума вентилятора силовой установки самолета применяется однослойная сотовая ЗПК; частотные характеристики снижения шума в таких глушителях имеют вид резонансной кривой с одним или несколькими максимумами.

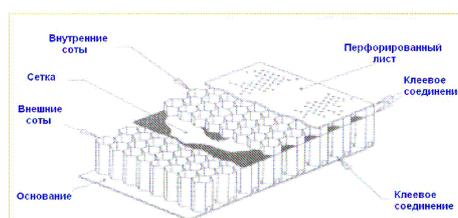


Рис. 10. Звукопоглощающие конструкции с сотовым наполнителем

) Способ снижения аэродинамических шумов, производимых шасси самолета

Способ снижения шумов, производимых шасси самолета, когда самолет летит и шасси выпущено, заключается в том, что покрывают, по меньшей мере, часть конструктивного элемента шасси материалом, который имеет меньшую плотность, чем материал конструктивного элемента, с тем, чтобы придать

указанной части такую аэродинамическую форму, которая обеспечивает сглаживание потока воздуха, обтекающего указанную часть.

Следовательно, конструктивный элемент остается неизменным и оптимальным с точки зрения его веса и возможности противостоять усилиям. Итак, при небольшом увеличении веса конструкция шасси остается прежней, тогда как конструктивные элементы имеют форму, которая имеет преимущества с точки зрения акустики. Конструктивное решение представлено на рис.11.

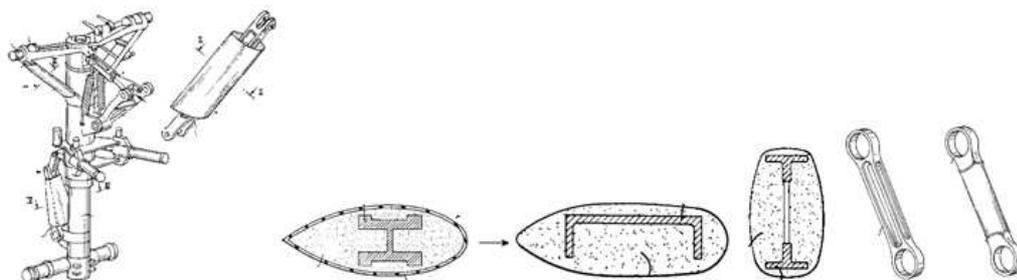


Рис. 11. Обтекатели шасси для понижения аэродинамических шумов [5]

) Системы и методы уменьшения шума в фюзеляжах

Вибрационная энергия передана через фюзеляж элементами жесткости и структурами и может вызвать существенный шум в пассажирском салоне. Этот шум не всегда удастся демпфировать и поскольку он связан с присоединением к относительно жестким металлическим деталям тонких обтекателей, чтобы обеспечить то, что обычно называется как принужденное демпфирование.

Система снижения шума в фюзеляже самолета путем включения в его силовые элементы демпфирующих прослоек приведена на рис. 12. Здесь элементы продольного силового набора включают в себя дополнительные демпферы вибраций, что и приводит к снижению уровня шума внутри фюзеляжа.

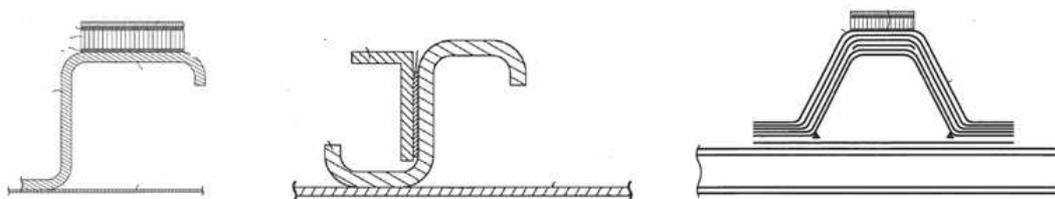


Рис. 12. Конструирование элементов продольного набора, уменьшающих шум фюзеляжа [6]

Для уменьшения шума в фюзеляже самолета используются и некоторые конструктивные изменения в его поперечном силовом наборе (рис.13).

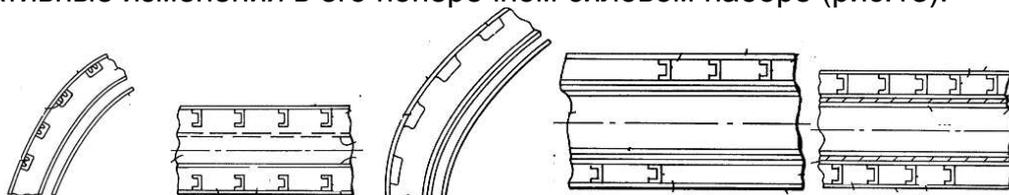


Рис. 13. Некоторые конструктивные решения поперечного набора, уменьшающие шум в фюзеляже самолета [7]

Наиболее простым и эффективным способом снижения шума в фюзеляже являются формы и материалы интерьера пассажирского салона. При этом основным требованием к используемым материалам таковы: они должны иметь такую массу, пониженную стоимость, быть нетосичными и максимально гласить шум внутри фюзеляжа.

Выводы

1. В отличие от ранее опубликованных работ [1], [5] и [6] в статье проведем анализ локальных источников возникновения шума в отдельных агрегатах самолета. Показано, что все основные агрегаты: силовая установка, фюзеляж, крыло и шасси имеют локальные источники шума различного уровня.

2. Сравнены уровни шумов, возникающих в отдельных агрегатах самолета, с требованиями ИКАО по допустимому их уровню в районе аэродрома и в обетаемых отсеках самолета. Показано, что возникает необходимость снижения уровней шумов в отдельных локальных точках их возникновения.

3. Для каждого из агрегатов: силовой установки, крыла, фюзеляжа и шасси, в которых возникают акустические колебания свыше допустимого ИКАО уровня, предложены конструктивные решения, способствующие снижению уровня шума до необходимого уровня.

Список литературы

1. Кузнецов В.М. Проблемы снижения шума пассажирских самолетов [текст] / В.М. Кузнецов // Акуст. журн. -2003. -Т. 49,№ 3.- С. 293 - 317.
2. Авиационная акустика [текст] /под ред. А.Г. Мунина. –М.: Машиностроение,1986. –Т. 1.
3. ГОСТ 17229-85. Самолеты пассажирские и транспортные. Метод определения уровней шума, создаваемого на местности.
4. Авиационные правила. Ч.36.
5. Пат. 2381145С2 Российская Федерация, МПК В64С25/16. Способ снижения аэродинамических шумов, производимых шасси самолета / Серо Кристель (FR),Гёржер Янн (FR),Мессье-Довти СА (FR)-№ 2008113246/11; заявл. 04.04.08 ; опубл. 10.02.10.
6. Patent. № 5094318A US, В64С 23/00, В64С 1/40. Passive reduction of aircraft fuselage noise / Foading Towfiq, Occanside.- № 08/770.737;application 18.12.96; pub. 18.05.99.
7. Patent. № 7837147В2 US, В64С 23/00, В64С 1/40. Systems and methods for reducing noise in aircraft fuselages and other structures / Salvatore L. Ligouore(US), Joshua M.Montgomery (US) -№ 11/084.779;application 18.03.05; pub. 21.09.06.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Кобрин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».

Поступила в редакции 14.12.12

Необхідність і шляхи зниження шуму агрегатів літака

Розглянуто вимоги, які ставляться до літаків за умовами екології. Проведено аналіз наслідків запровадження міжнародними екологічними організаціями нових нормативних документів по шуму пасажирських літаків в околицях аеропортів. Підкреслено необхідність розвитку нових методів зменшення авіаційного шуму. Проаналізовано характеристики основних джерел шуму агрегатів пасажирських літаків різного типу. Запропоновано конструктивні шляхи збільшення ефективності систем шумоглушення силових установок, агрегатів планера і шасі на зменшення зовнішнього та внутрішнього шуму літаків.

Ключові слова: авіаційний шум, вимоги з шуму ІКАО, рівень шуму, звукопоглинальні конструкції, шумоглушительні пристрої, аеродинамічний шум.

The need and ways to reduce aircraft noise machines

The requirements that apply to the aircraft by the condition of the environment. The analysis of the implications for international environmental organizations new regulations on noise of passenger aircraft in the vicinity of airports. Emphasized the need to develop new ways to reduce aircraft noise. The characteristics of the main sources of noise units of passenger aircraft of various types. Constructive ways to increase the effectiveness of noise suppression propulsion, airframe and landing gear to reduce internal and external noise aircraft.

Keywords: aircraft noise, the requirements of ICAO noise, noise, sound-insulated devices, aerodynamic noise.