

Виброакустика самолетов с двигателями нового поколения(проблемы и решения)

В. С. Бакланов*

ПАО «Туполев», Москва 105005, Набережная академика Туполева, д. 17

(Статья поступила 10.07.2017; Подписана в печать 13.09.2017)

Задача выполнения самолётами нового поколения будущих шумовых стандартов (гл. 14 ИКАО) по защите окружающей среды требует перехода на двигатели большой степени двухконтурности всех типов магистральных самолётов.

Вибрационный и акустические спектры турбовентиляторных двигателей большой степени двухконтурности смещаются в низкочастотную часть звукового спектра. Это вызвано снижением частоты вращения ротора вентилятора и низкочастотных составляющих возмущающего воздействия газоздушного тракта двигателя, что определяет характер шума самолетов и виброакустического воздействия двигателей на планер и требует нового подхода к разработке средств для снижения шума и вибрации.

PACS: 05.40.Ca УДК: 534.121

Ключевые слова: турбовентиляторный двигатель, степень двухконтурности, вибрационный и акустический спектры, вентилятор, структурный шум, звукопоглощающая конструкция.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегическое развитие самолетов нового поколения идет в направлении дальнейшего уменьшения шума на местности, снижения вредных выбросов и повышения топливной эффективности, где определяющая роль принадлежит двигателям. За прошедшие годы четко обозначилась эволюция двигателей в сторону увеличения степени двухконтурности: от двигателей большой степени двухконтурности (4,5–6,0) к двигателям сверхбольшой степени (8–12).

Бурное развитие двигателестроения позволяет проводить ремоторизацию как однопроходных массовых самолетов (типа B737, A320), занимающих 80% парка магистральных самолетов, так и популярных самолетов другого класса — B777 и A330.

Ближайшие 10–15 лет мы будем иметь дело с самолетами, оснащенными турбовентиляторными двигателями повышенной степени двухконтурности (8,5–12): ПД-14 (Авиадвигатель), семейство Lear (Snecma, GE), GE9x, GE9X, семейство TRENT (RR), XWB (RR) и семейством типа PW1000G (PW).

Самолеты, оснащенные такими двигателями, могут успешно выполнить будущие шумовые стандарты 2017 г. (Chapter 14), обеспечить снижение вредных выбросов и повышение топливной эффективности, но при этом происходит существенное изменение виброакустических характеристик силовых установок.

1. ОЖИДАЕМЫЕ СПЕКТРЫ ШУМА И ВИБРАЦИИ

Повышенная степень двухконтурности двигателя приводит не только к значительному увеличению акустической мощности вентилятора, но и к изменению

характера спектра шума, где, при существенном снижении шума струи, определяющую роль занимает шум вентилятора, излучаемый как из передней, так и задней полусферами силовой установки.

Рост степени двухконтурности двигателей ведет к увеличению диаметра вентилятора. С увеличением диаметра вентилятора концы лопаток вращаются со сверхзвуковой скоростью, генерируя ударные волны. Взаимодействие ударных волн с колесом вентилятора образует полигармонический ряд дискретных составляющих вокруг основных частот следования лопаток (первая и вторая гармоники), отличающихся на частоту вращения вала вентилятора, названный «пилообразным» шумом (рис. 1) [1, 2]. Современные звукопоглощающие конструкции в воздухозаборном устройстве успешно справляются с «пилообразным» шумом в диапазоне высоких частот (рис. 1), но ниже 600 Гц эффекта не наблюдается.

Одна из необходимых мер борьбы с ударными волнами — снижение частоты вращения вала вентилятора, в результате чего вибрационный спектр турбовентиляторных двигателей существенно расширяется со сдвигом в низкочастотный диапазон вследствие пониженной частоты вращения ротора вентилятора. Некоторые гармоники газоздушного тракта (например, вращающегося вихря), связанные определенным соотношением с частотой вращения вала вентилятора, уже оказываются в области инфразвука (рис. 2).

Эти составляющие и будут определять спектр динамического воздействия двигателей, передаваемый через узлы крепления на конструкцию планера. Для планера современного самолета характерно наличие нескольких десятков собственных форм колебаний в низкочастотной части спектра (рис. 2), взаимодействие некоторых из них с возмущающим воздействием силовой установки может привести к генерированию в кабинах самолетов дискретных низкочастотных составляющих шума высокого уровня [3, 4].

Ожидаемый уровень структурного шума (от вибра-

*E-mail: baklanov@tupolev.ru

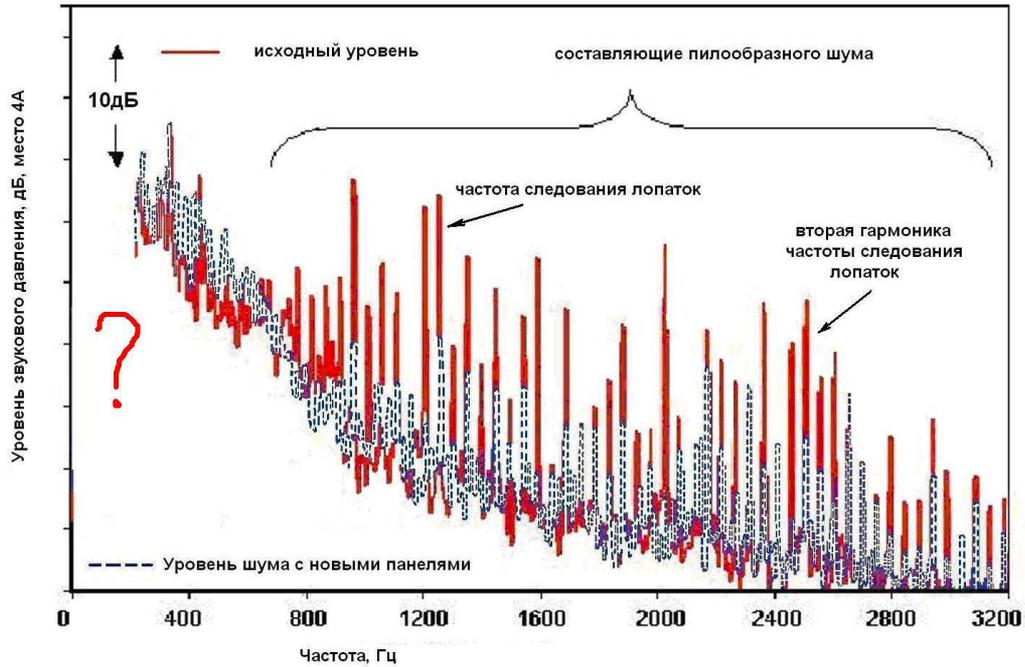


Рис. 1: Спектр шума в переднем пассажирском салоне самолета-демонстратора QTD1 [1, 2]

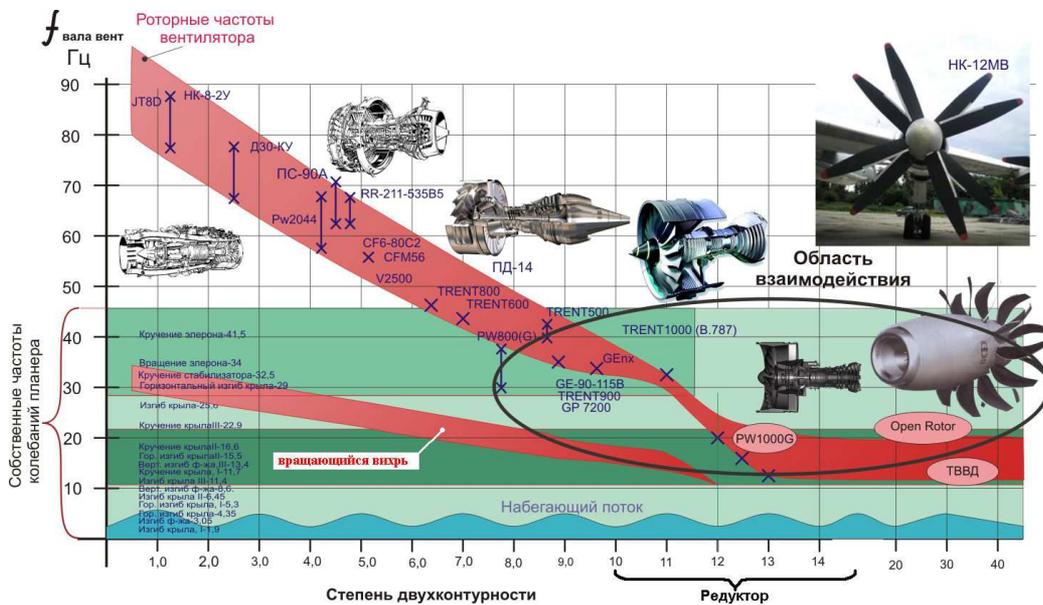


Рис. 2: Частоты (вращения вала вентилятора и вращающегося вихря) двигателя и собственные частоты планера самолета в процессе эволюции двигателей [3, 4]

ционного воздействия двигателей) в гермокабине существенно возрастает в низкочастотной части спектра, что подтверждается как расчетами с учетом передаточных функций виброакустической проводимости и динамических податливостей прототипов двигателей и планеров [2, 3], так и измерениями на самолете-демонстраторе QTD2 В777 с двигателем GE90-115В, степень двухконтурности 8,7 (рис. 3) [2, 5].

Частота 1-ой лопаточной гармоники шума вентилятора снижается в 1,5–2 раза не только за счет снижения частоты вращения вала вентилятора, но и уменьшения числа широкохордных лопаток (например, для GE9X с 22 до 16). Поэтому шум, излучаемый из воздухозаборников двигателей большой степени двухконтурности в дальнее поле (шум на местности) и по направлению к стенке фюзеляжа, состоит из многократ-

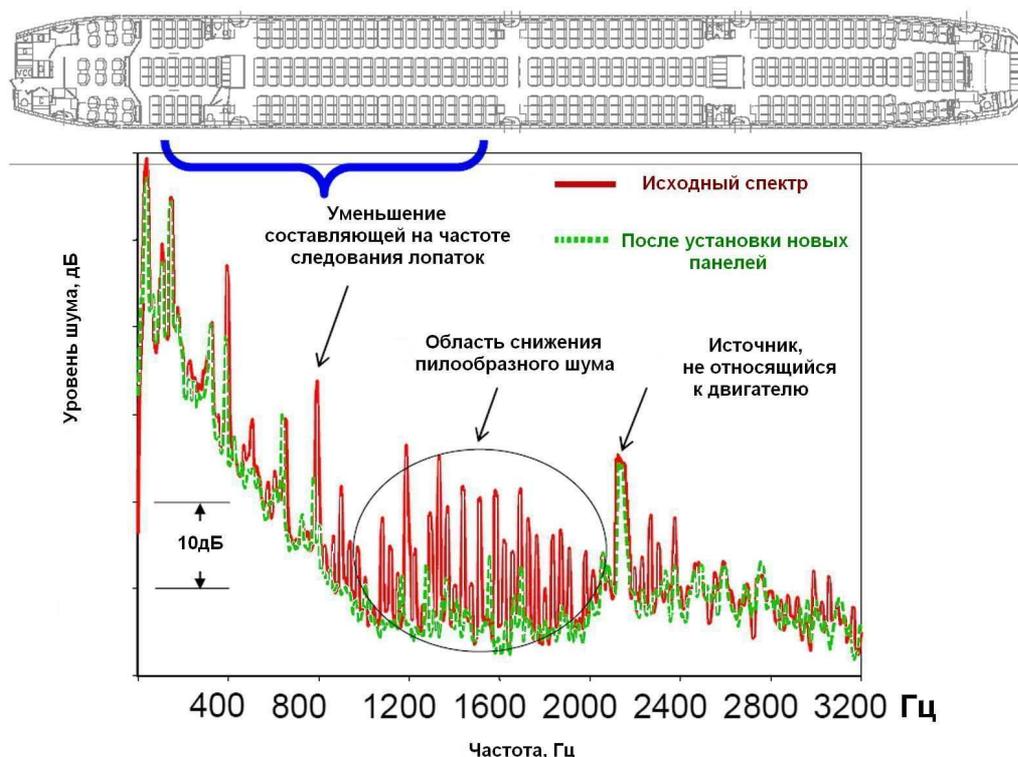


Рис. 3: Спектр шума в передней части кабины самолета–демонстратора QTD2 [2, 5]

ных тонов более низких частот, что отмечено в спектре шума переднего пассажирского салона самолетов–демонстраторов QTD1 (рис. 1) и QTD2 (рис. 3).

2. НЕКОТОРЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕШЕНИЯ

Решение проблем шума на местности, видимо, потребует переноса внимания с традиционных методов (установки низкочастотных ЗПК, от которых требуется повышенная высота, например для частоты 800 Гц — 80 мм, а частота 1-ой лопаточной гармоник вентилятора редукторного двигателя PW1100G — 600 Гц) на методы борьбы с шумом в источнике (широкохордные лопатки вентилятора, технология блиск, актуаторы), [7, 8].

Решение проблем структурного шума, вызванного вибрационным воздействием двигателей, потребует создания нового поколения крепления двигателей (видимо, с встроенными низкочастотными блоками виброизоляции) [6, 9]. В ОКБ А. Н. Туполева разработка СУ каждого нового поколения двигателей сопровождалась комплексными исследованиями по решению виброакустических проблем. На основе проведенных исследовательских работ разработана и проверена на само-

лете Ту–154М методика оптимального выбора виброизолирующего крепления двигателей с учетом реальных динамических характеристик двигателя и планера (рис. 4).

Уменьшение динамических сил, передаваемых подкосами крепления двигателей, с блоком виброизоляции составляет 2,0–2,5 раза в диапазоне роторных частот (рис. 4), что обеспечивает снижение шума в гермокабине дискретных роторных частот на 6–8 дБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт эксплуатации самолетов с двигателями повышенной степени двухконтурности (9–12) показывает:

- новые нормы шума на местности будут успешно выполнены;
- уровень низкочастотных составляющих структурного шума в кабине экипажа может превышать рекомендации санитарных норм и вызвать вопросы о безопасности полетов.

[1] Shivashankara B. Recent Advances in Aircraft Noise Reduction and Future Technology Needs.// International

Symposium: Which technologies for future aircraft noise

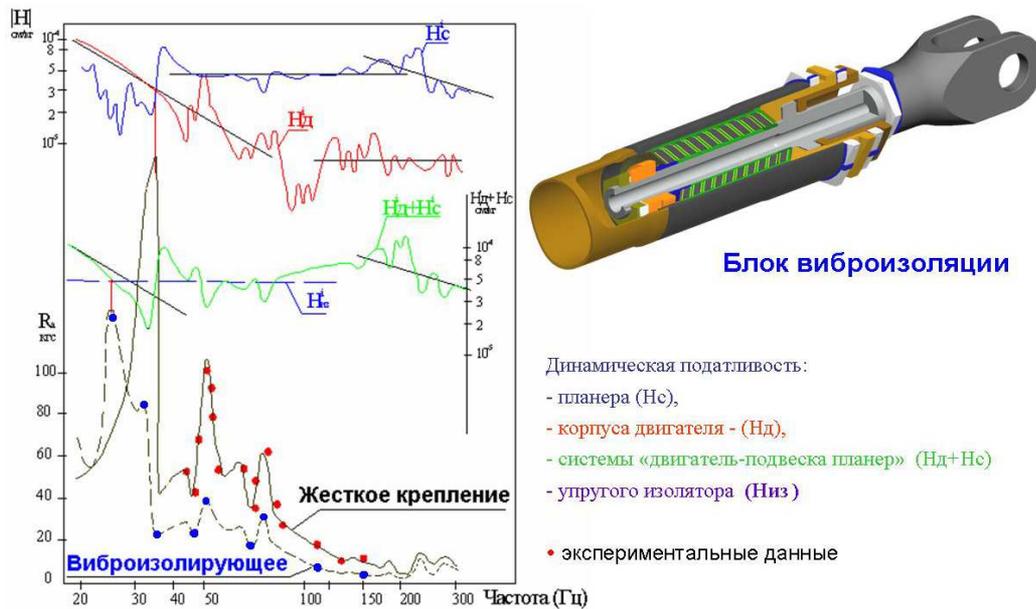


Рис. 4: Эффективность виброизолирующего крепления двигателей [9]

reduction. Proc., Arcachon, France, 9-11 October, 2002.

- [2] Бакланов В. С. Ученые записки ЦАГИ. 2010. **XLI**, № 1. С.78.
- [3] Baklanov V. S. Interaction of power plant with of new generation aircraft. EUCASS book series advances in aerospace sciences. 2012. **4**. Progress in Propulsion Physics. P.395.
- [4] Бакланов В. С., Коновалов И. С. Эволюция самолетов нового поколения — с какими спектрами будет иметь дело аэроакустика? 5-я Всерос. конф. «Вычислительный эксперимент в аэроакустике». Светлогорск. 2014. С. 29.
- [5] Nesbitt E., Jia Yu, Quiet Technology Demonstrator 2 Intake

Liner Design and Validation. Proc. 12th AIAA/CEAS Aeroacoustic Conference, 2006, Cambridge, Massachusetts.

- [6] Бакланов В. С. Акуст. журн. 2016. **62**, № 4. С. 451.
- [7] Kors E. Roadmap Brick for Aircraft Noise Reduction. Int. Conf. Greener Aviation : Clean Sky breakthroughs. Belgium. Brussels. 2014.
- [8] Smith M. Integrated Propulsion System Design Summar. Int. Conf. Greener Aviation : Clean Sky breakthroughs. Belgium. Brussels. 2014.
- [9] Бакланов В. С. Техника воздушного флота. 2012. **86**, № 2(707). С.49.

Vibroacoustics of aircraft with engines of a new generation (Problems and solutions)

V. C. Baklanov

PLC «Tupolev». Moscow 105005, Russia
E-mail: baklanov@tupolev.ru

Implementation by new generation aircrafts of future noise standards (Chapter 14 ICAO) for the protection of the environment requires a transition to a high bypass ratio engine of all types of trunk airplanes. The vibration and acoustic spectra of turbofan engines of a high bypass ratio are shifted to the low-frequency part of the sound spectrum. This is caused by a decrease in the rotation speed of the fan rotor and low-frequency components of the disturbing effect of the air-gas engine tract, which will determine the nature of airplane noise and vibroacoustic influence engines on the body and requires a new approach to the development of means for noise and vibration reduction.

PACS: 05.40.Ca

Keywords: turbofan engine, degree of double circuit, vibrational and acoustic spectra, fan, structural noise, sound-absorbing structure.

Received 10 July 2017.

Сведения об авторе

Бакланов Вячеслав Сергеевич — канд. техн. наук, гл. специалист по виброакустике ПАО «Туполев»; тел.: (499) 263-77-92, e-mail: baklanov@tupolev.ru.