

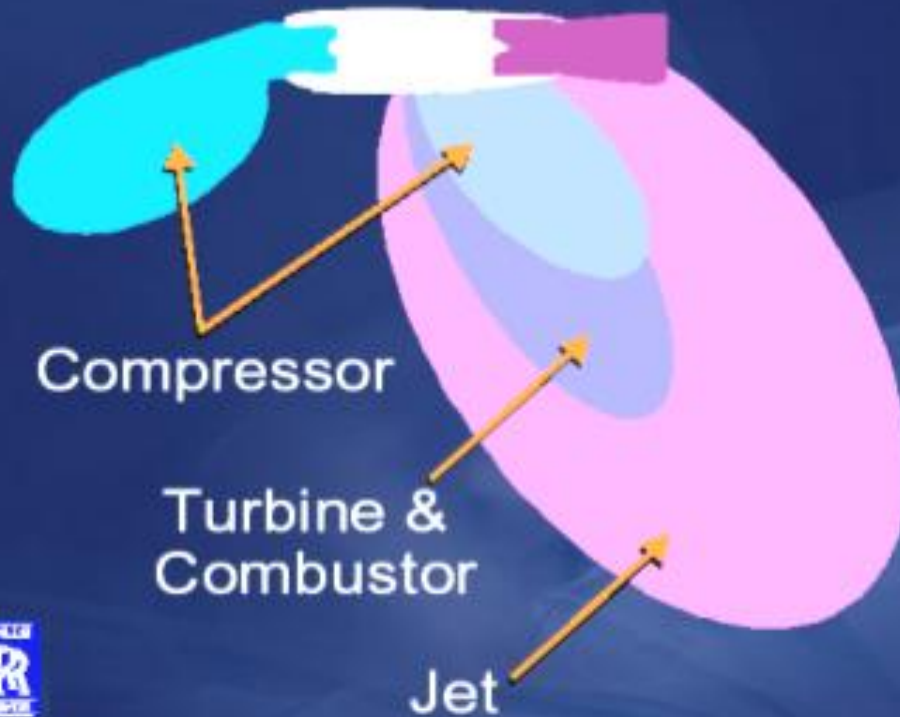


***АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АЭРОАКУСТИКИ:
КАКИЕ СПЕКТРЫ ОБЕЩАЮТ САМОЛЕТЫ
С ДВИГАТЕЛЯМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ***

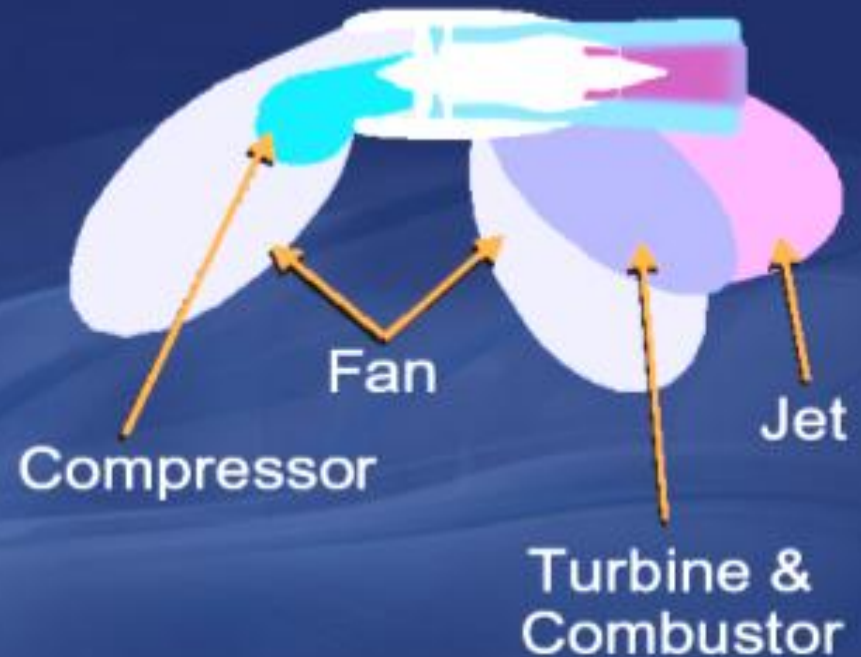
В.С. Бакланов
baklanov@tupolev.ru

Источники шума двигателей 1960 и 2000 годов

Noise of a typical 1960's engine



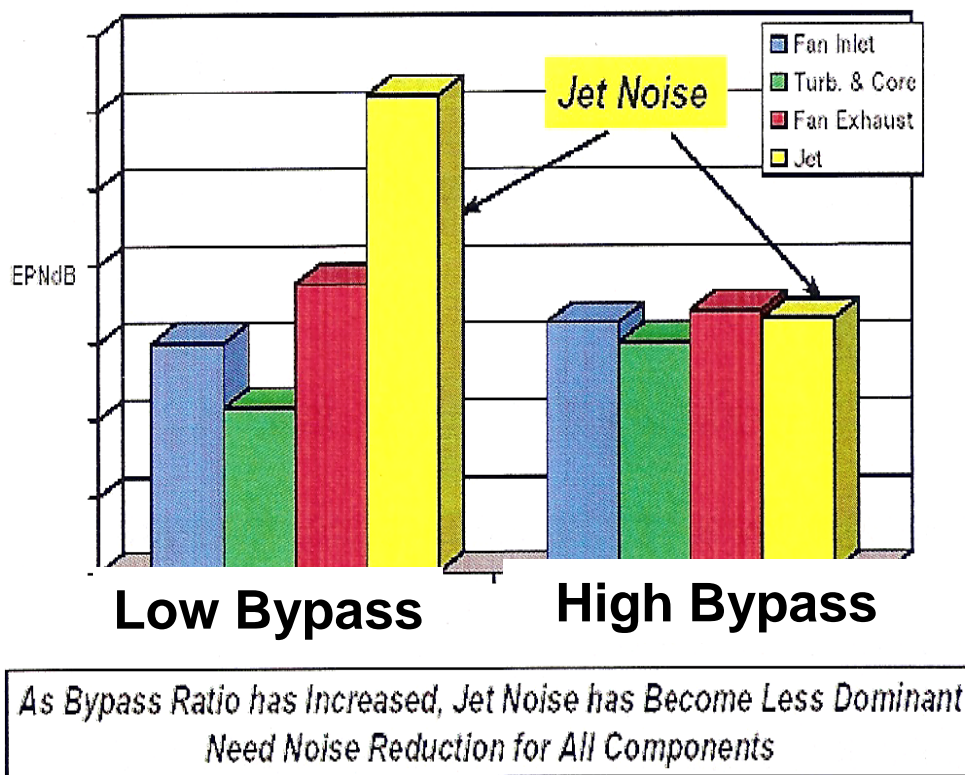
Noise of a typical 2000 engine



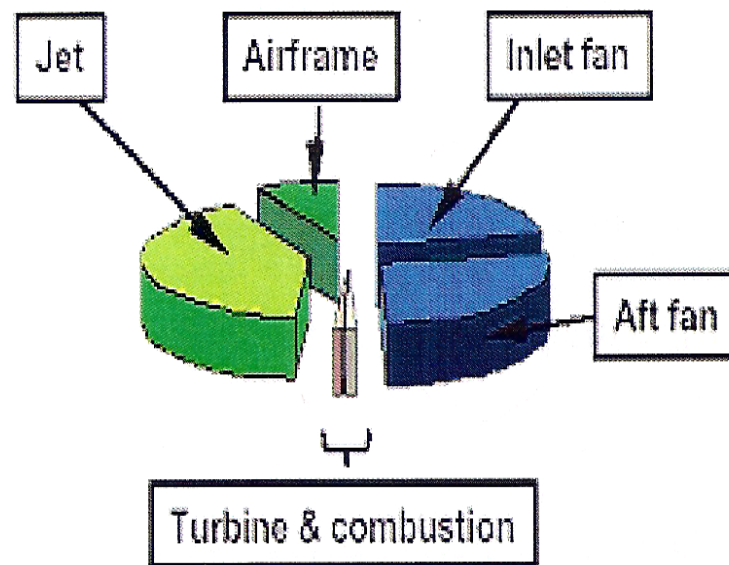
- ✓ **перераспределение вкладов** от различных источников шума
 - ✓ значительное **снижение шума реактивной струи**
- ✓ **шум вентилятора** доминирует как в передней, так и в задней полусферах

Изменение вклада отдельных источников шума двигателей нового поколения

Progress in Community Noise Reduction



Снижение шума струи.



Вклад основных источников шума.

Эволюция двигателей

Снижение шума к Гл.4, ЕРНdВ

30
20
10
0

Большая
двухконтурность
 $m = 6$



$m = 10$

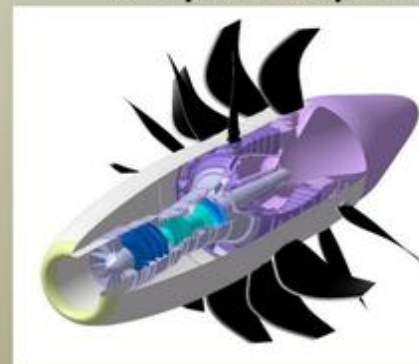


Сверхбольшая двухконтурность

$m = 12$



Открытый ротор



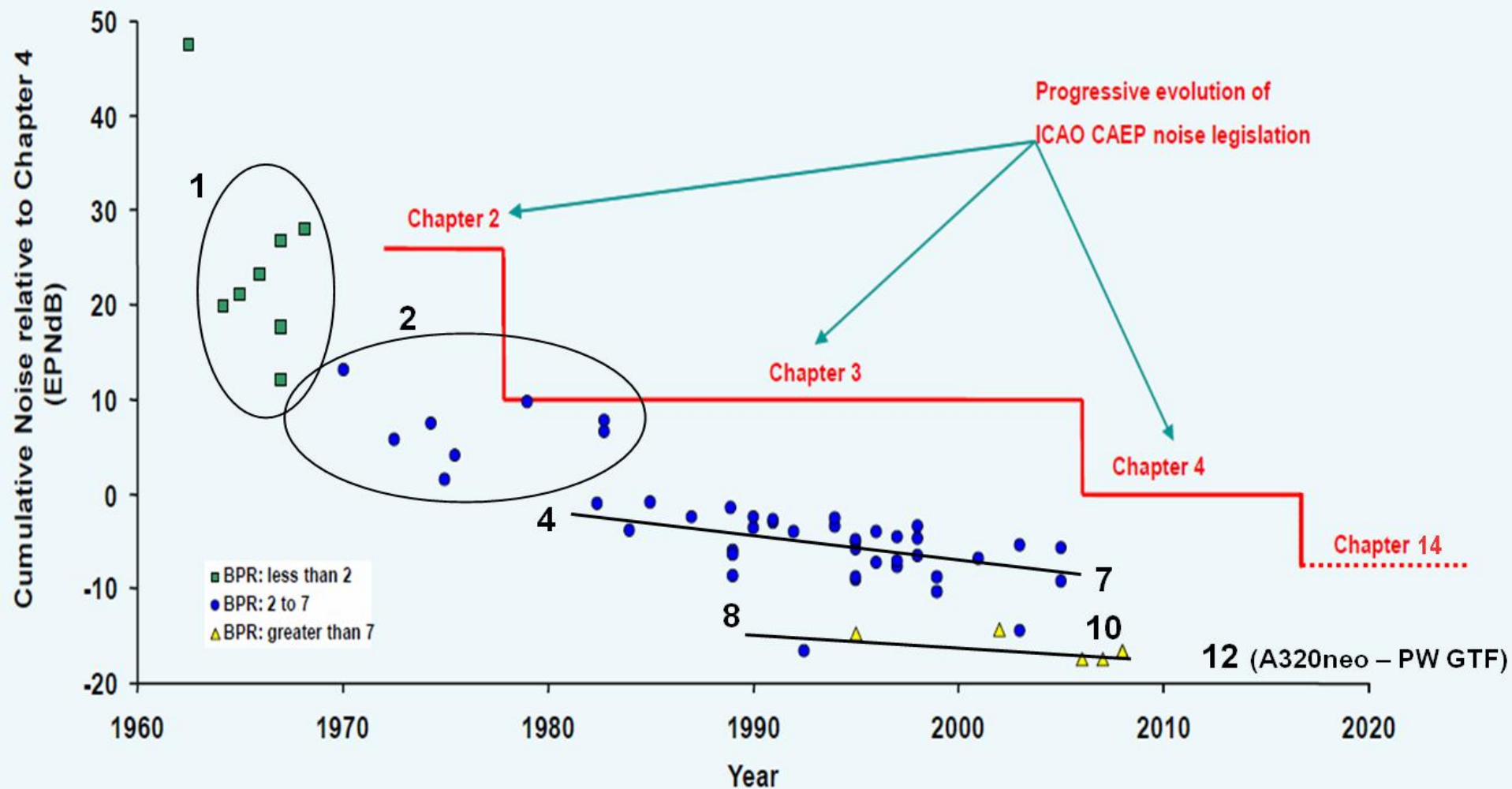
NASA
N+1

Снижение расхода топлива, %



Эволюция норм шума

Evolution of ICAO Noise Standards



Пилообразный шум в кабине самолёта



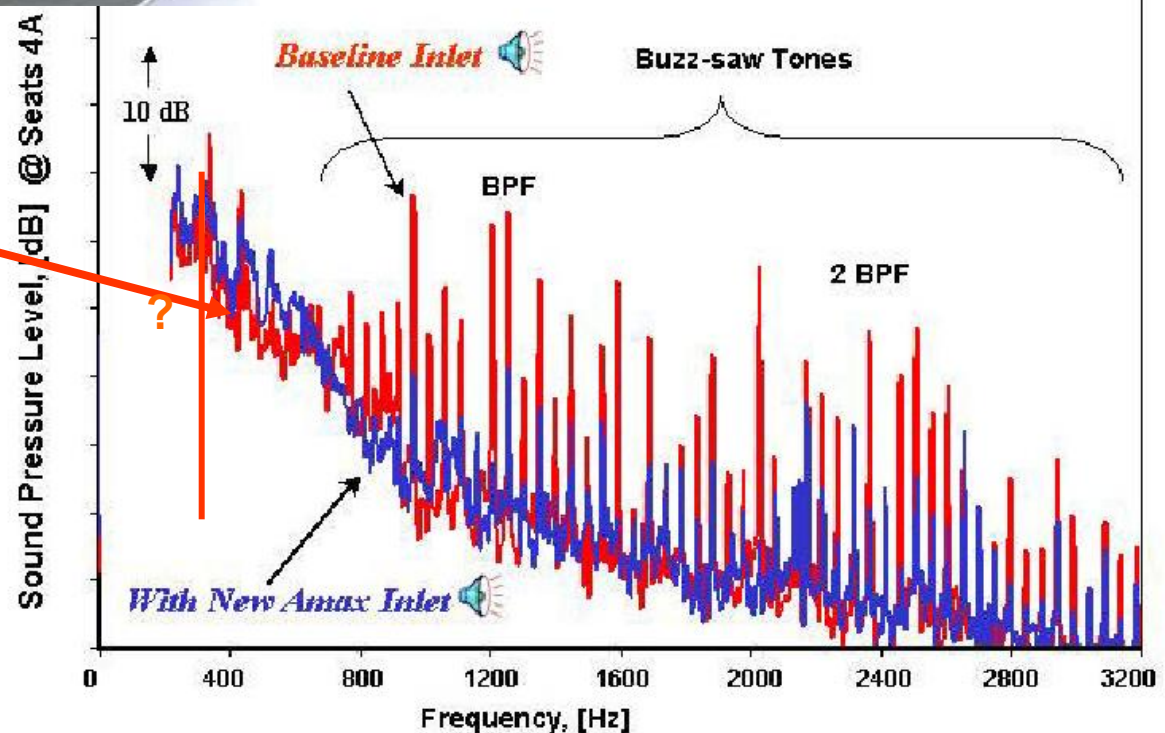
Применение модернизированного (Аmax) воздухозаборника существенно уменьшает пилообразный шум (buzz-saw tones)

QTD 1 B-777
(TRENT 800, $m=6,3$ $D_B=2,8$ м)

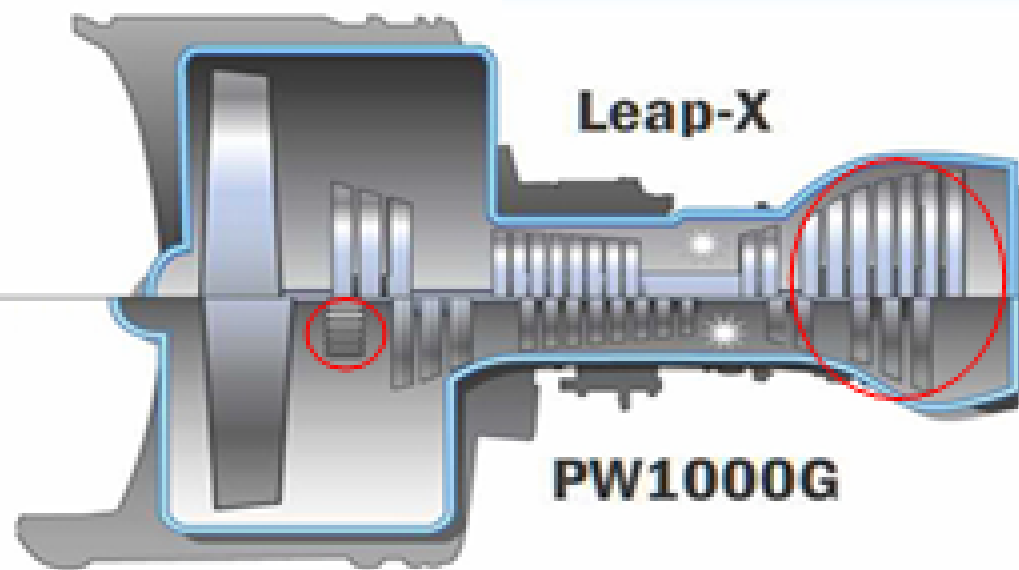
Но не шум ударных волн!

Воздействие ударных волн передается через корпус двигателя, подвеску (крепление), планер и переизлучаются в кабину

Represented by Boeing
(Arcachon, France, 2002)



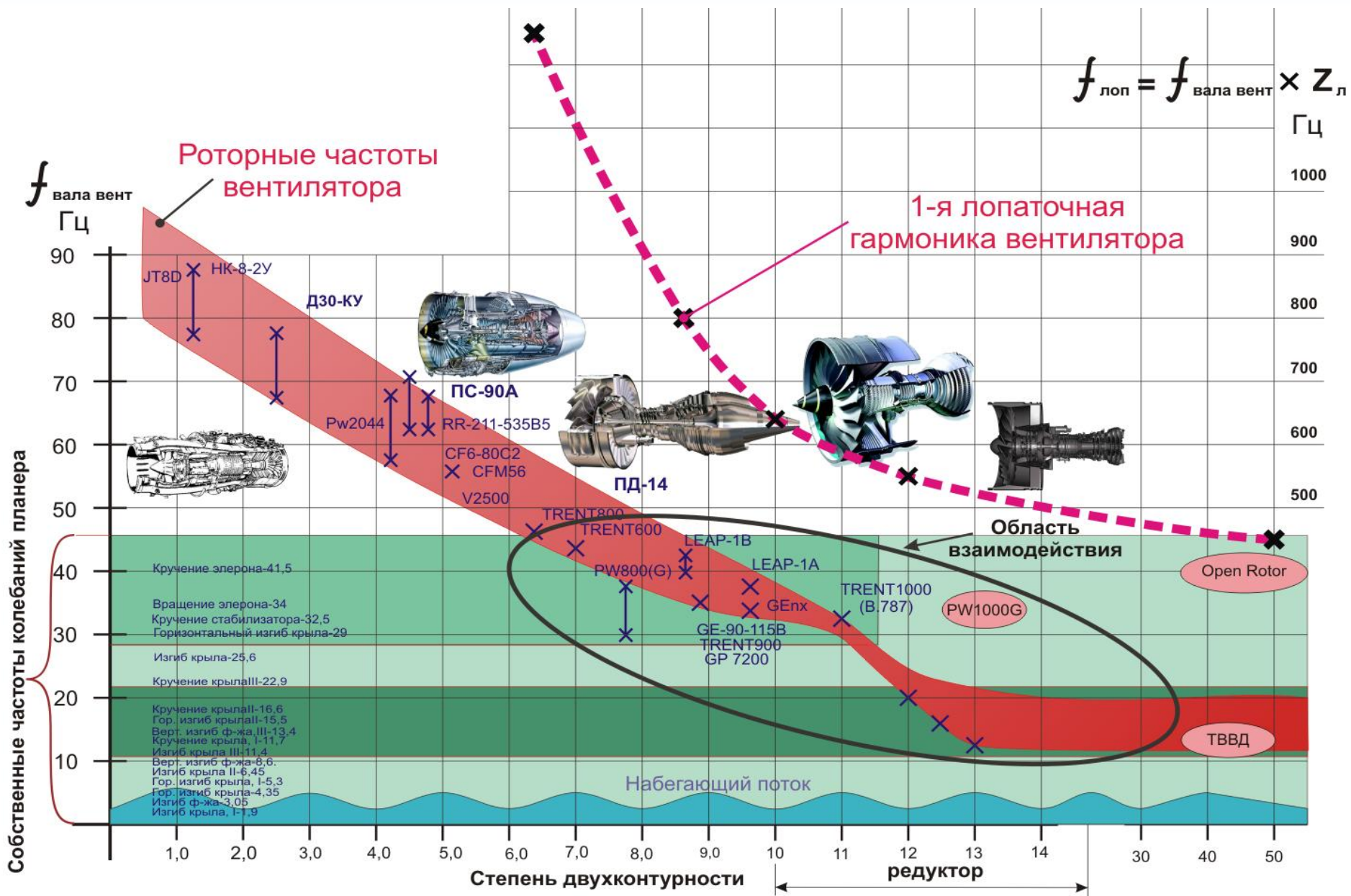
Развитие двигателей нового поколения



Сравнение схем двигателей Leap-X и PW1000G

PW1124G	12:1	<u>A320neo</u>		Leap A	11:1	<u>A320neo</u>
PW1215G	9:1	<u>Mitsubishi Regional Jet</u>				
PW1428G	12:1	<u>MC-21</u>		Leap B	9:1	<u>Boeing 737 MAX</u>
PW1519G	12:1	<u>Bombardier CSeries</u>				
PW1700G	9:1	<u>Embraer E-Jet E2</u>		Leap C	9:1	<u>COMAC C919</u>
PW1900G	12:1	<u>Embraer E-Jet E2</u>				

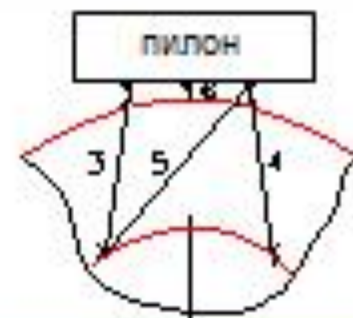
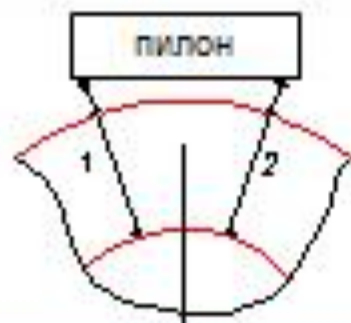
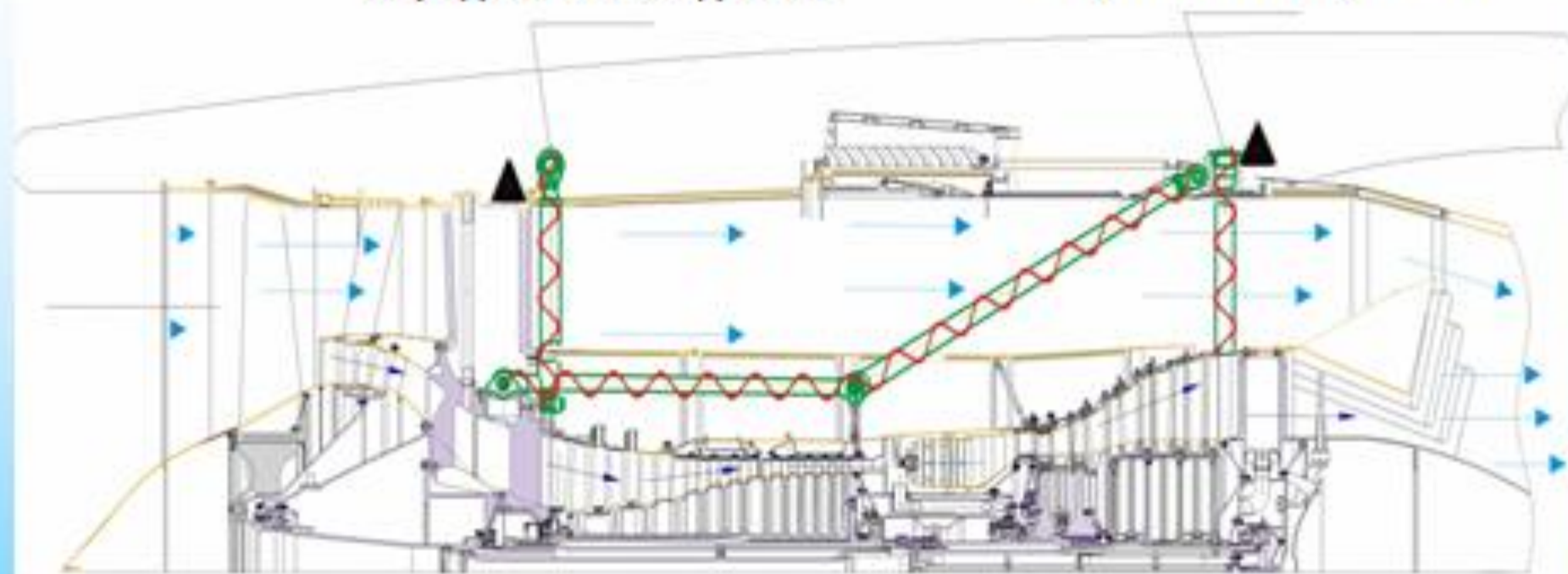
Эволюция виброакустических характеристик самолетов с двигателями нового поколения

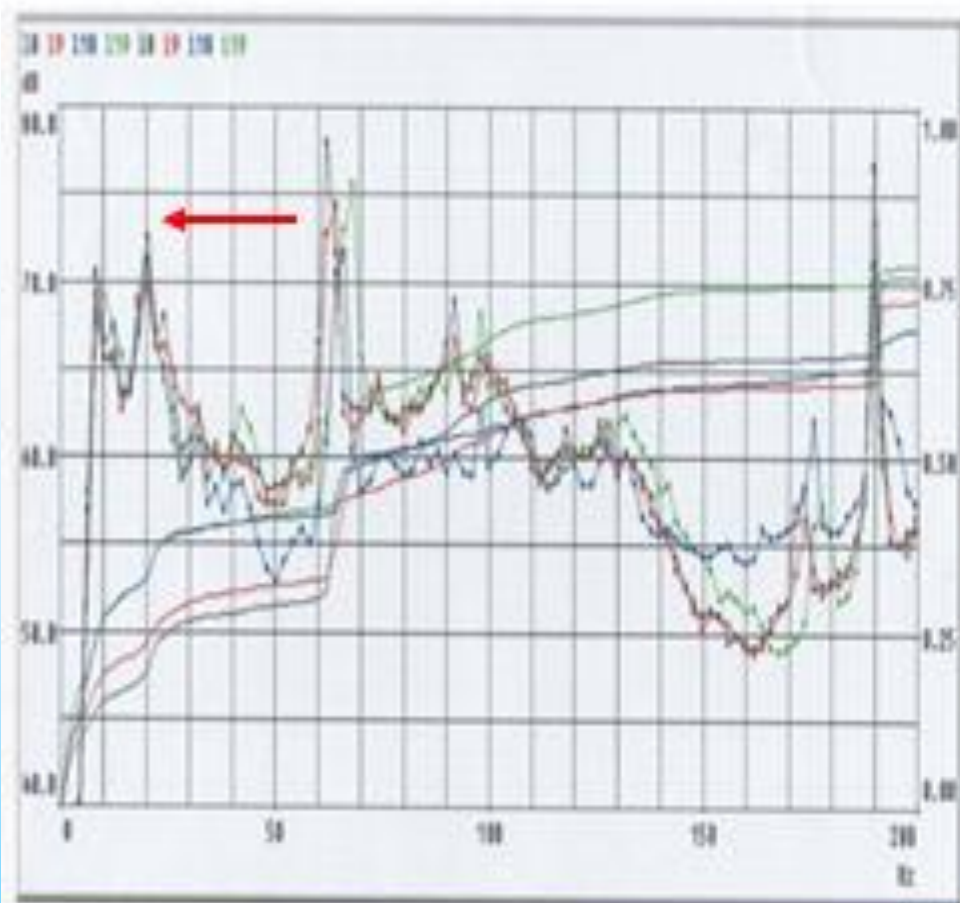


Вибрационное воздействие двигателя

Передний пояс подвески

Задний пояс подвески





Узкополосные спектры
и спектральные функции
акустического шума

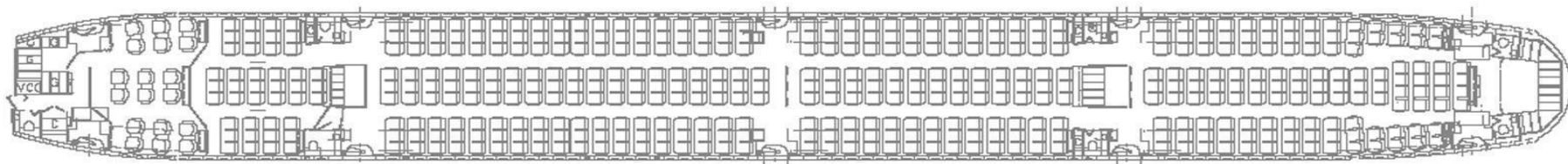
на месте оператора в крейсерских режимах полета
в кабине самолета с двигателями двухконтурностью

4 - 6

Пути распространения
структурного шума
от вибрационного воздействия двигателя



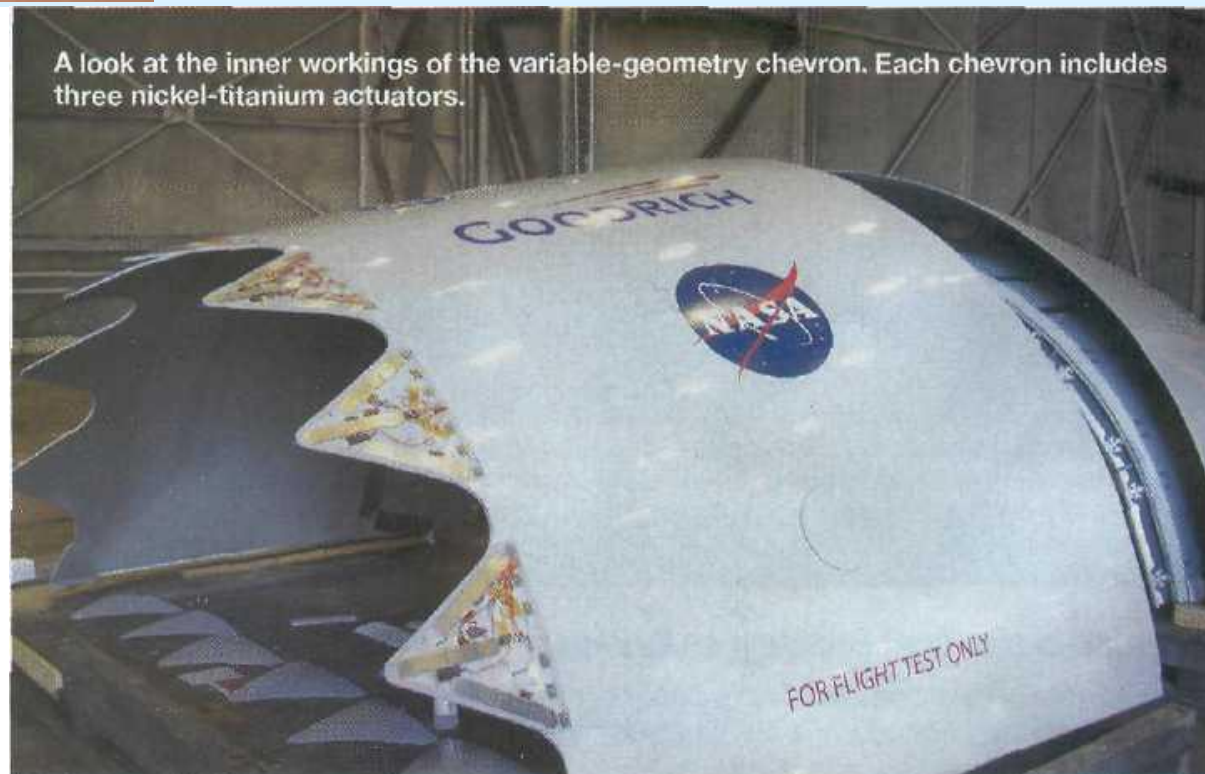
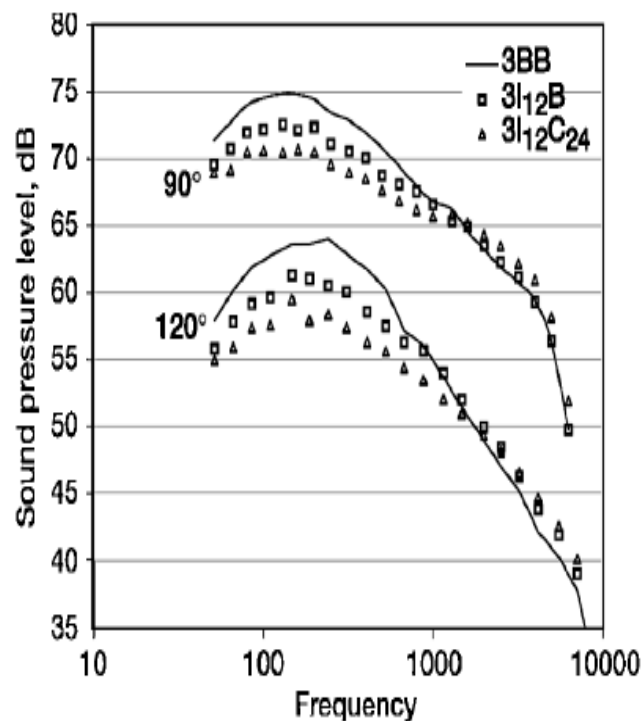
Спектр шума в переднем пассажирском салоне QTD2-B777 (GE90-115B, $m=8,7$)





**На демонстраторе QTD2 были
испытаны управляемые
шевроны.**

**С двигателей нового поколения
шевроны уже убирают**



“Зеленеющая авиация: Прорывы в чистое небо”

Брюссель (Бельгия) 12-14 марта 2014



Проект OPENAIR нацелен на уменьшение шума в источнике
как для двигателя,
так и для планера

Снижение шума:

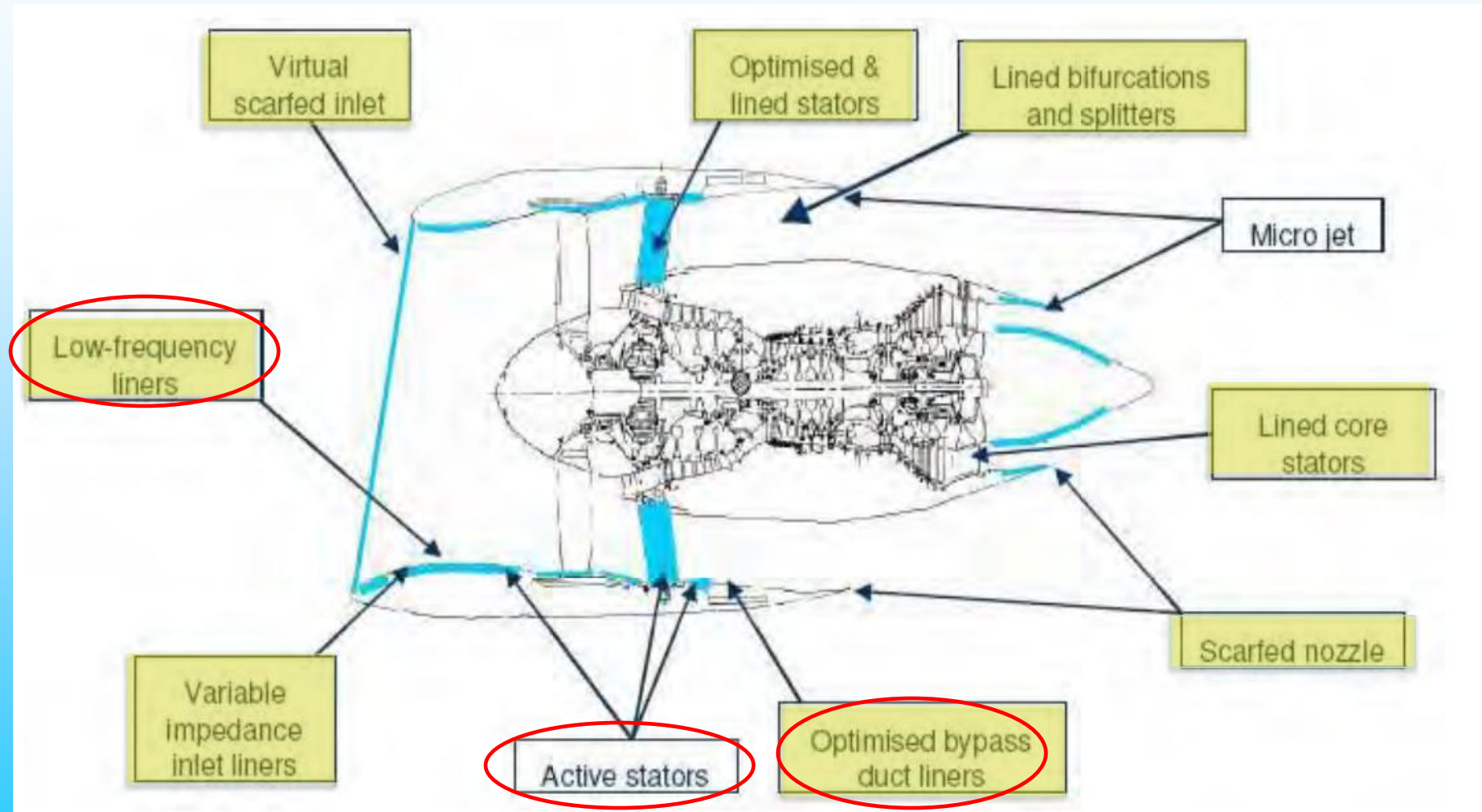
- ✓ Eugene Kors (Safran). Roadmap Brick for Aircraft Noise Reduction.
- ✓ Marcus Smith (Rolls-Royce). Integrated Propulsion System Design Summar.
- ✓ Jacky Mardjono (Safran). Electronically Assisted Propulsion Systems Technologies Summary

Инновации:

V. Baklanov (Tupolev). New generation engines mount must become green.

Marcus Smith (Rolls-Royce plc)

OPENAIR Technologies

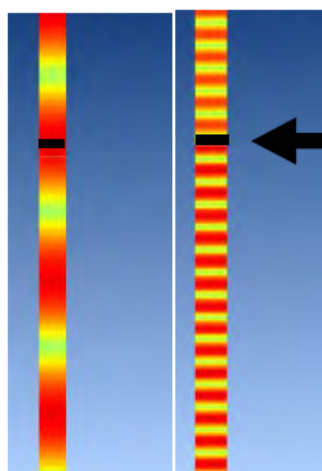


Marcus Smith (Rolls-Royce plc)

Inlet

Folded-cavity liner impedance model

9.4" deep SDOF

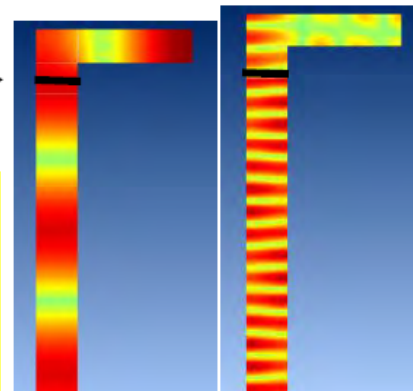


800Hz

5000Hz

Facing Sheet

- Folded cavity behaves as deep liner at low frequency
- Primarily direct reflection at high frequency



800Hz

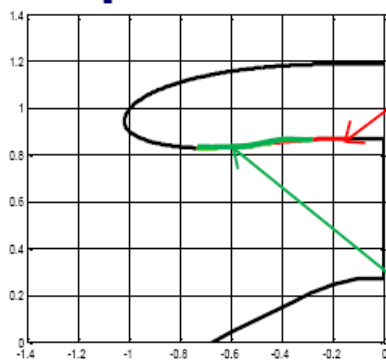
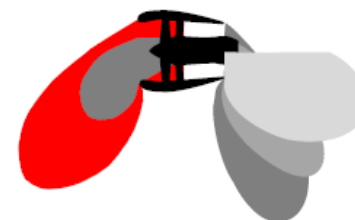
5000Hz

UoS, BAB



Segmented liner with 80mm deep liner

UoS, GKN



25% Low-frequency DDOF liner (80mm deep)

75% Baseline DDOF liner

High Bypass Engine Fan Source SMR AP2-EP2;

Folded Cavity (Deep Liner) : -4 EPNdB Cumulative

Segmented liner:

-1.5 EPNdB Cumulative

Significant BSN noise reduction in the cabin not achievable by any reasonable amount of acoustic treatment in the fuselage



Electronically Assisted Propulsion Systems Technologies Summary

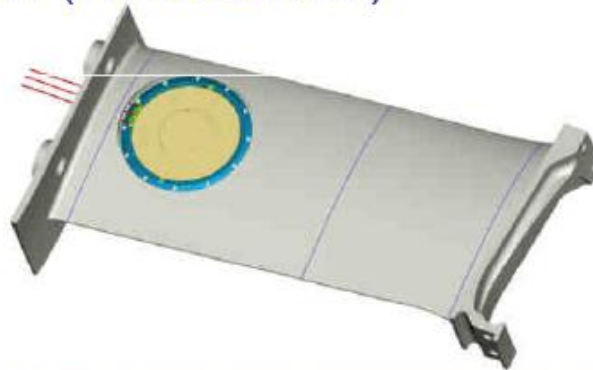
Jacky MARDJONO (SAFRAN)

Stator technology integration

- Full scale flat actuator (Airbus group)
 - Innovative actuator development and manufacture
 - Specifically design & tested to fulfil OGV integration constraints
- Metallic active OGV solution (ATMOSTAT)
 - Design
 - Mechanical justification
 - Manufacture
 - Acoustic tests



Piezoelectric actuator

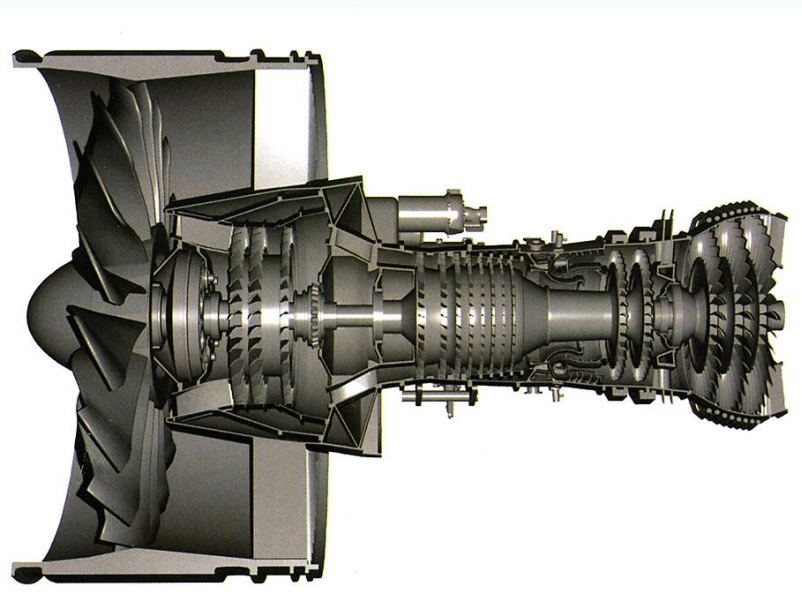


Новые технологии вентилятора: блиск, штампованная лопатка, сварное колесо



PW верит в перспективу дальнейшего развития GTF

(10 типов двигателей с тягой от 6,6 т до 14,6 т для 5 типов самолетов)



PW1124G
PW1127G
PW1133G



A320 Neo

PW1215G
PW1217G



**Mitsubishi
Regional
Jet**

PW1400G



Иркут MC21

PW1521G
PW1524G



**Bombardier
C Series**

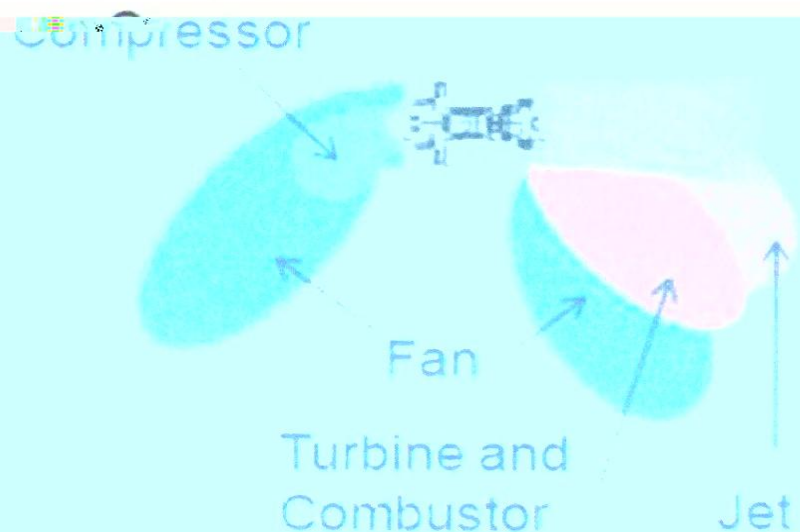
PW1700G
PW1900G



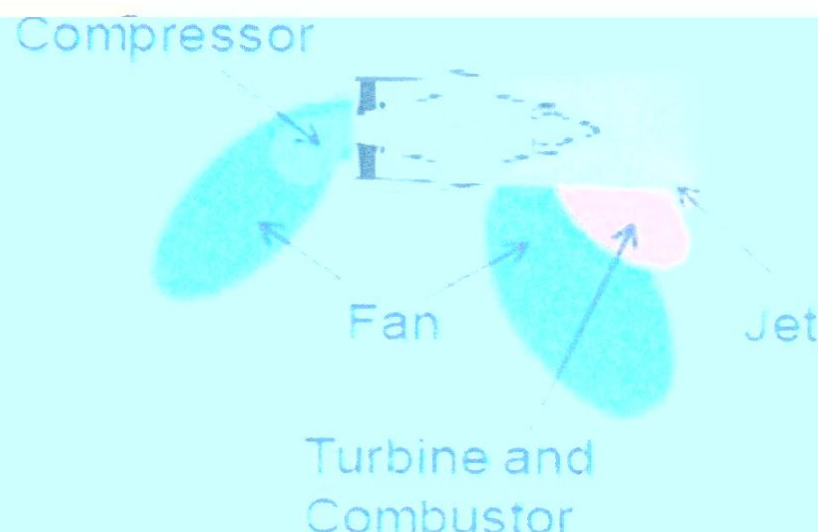
**Embraer
E-Jets E2**

	PW1200G	PW1500G	PW1100G	PW1400G
Самолет	Mitsubishi MRJ	Bombardier C Series	Airbus A320 Neo	Иркут MC-21
диапазон тяги	PW1215G 6,6 т PW1217G 7,5 т	PW1521G 93,41 кН PW1524G 103,64 кН	PW1124G 106,76 кН PW1127G 120,1 кН PW1133G 146,79 кН	от 106,76 кН до 146,79 кН
архитектура	1-G-2-8-2-3	1-G-3-8-2-3	1-G-3-8-2-3	1-G-3-8-2-3
степень двухконтурности	9:1	12:1	12:1	12:1
диаметр вентилятора	1,42 м	1,85 м	2,06 м	2,06 м
ввод в эксплуатацию	2014 → 2016	2016	2016	2019 ?

Новейшее распределение источников шума двигателей нового поколения



Typical 1990s Engine
6~8:1 BPR



2015 Engine
12:1 BPR
Geared Turbofan

Airframe Noise Overview

Presented by : Pierre Lempereur (Airbus)

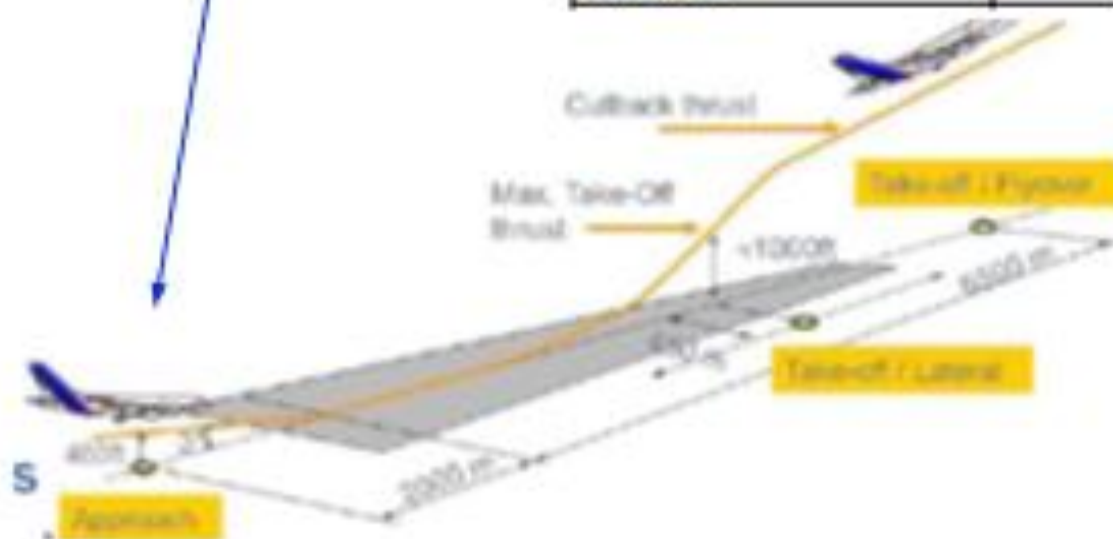
Источники шума



Структура шума



Объект	%
Струя	3
Турбина	-0
Камера сгорания	5
Вентилятор (вперед)	22
Вентилятор (назад)	15
Передняя стойка шасси	10
Основные стойки	20
Крылья	25



Новая концепция B.797 : короткие мотогондола и воздухозаборное устройство

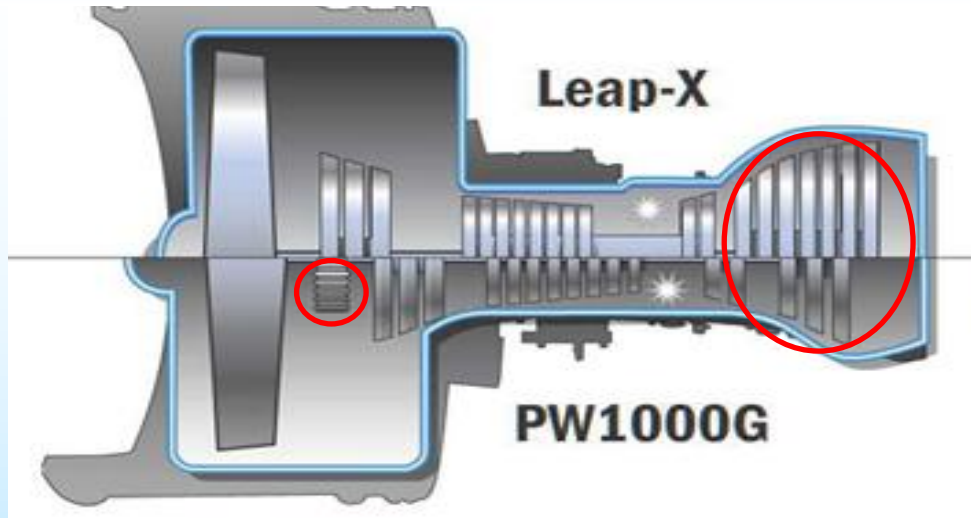
Boeing 797 / NMA-6X Concept - 2018

jonostrower.com

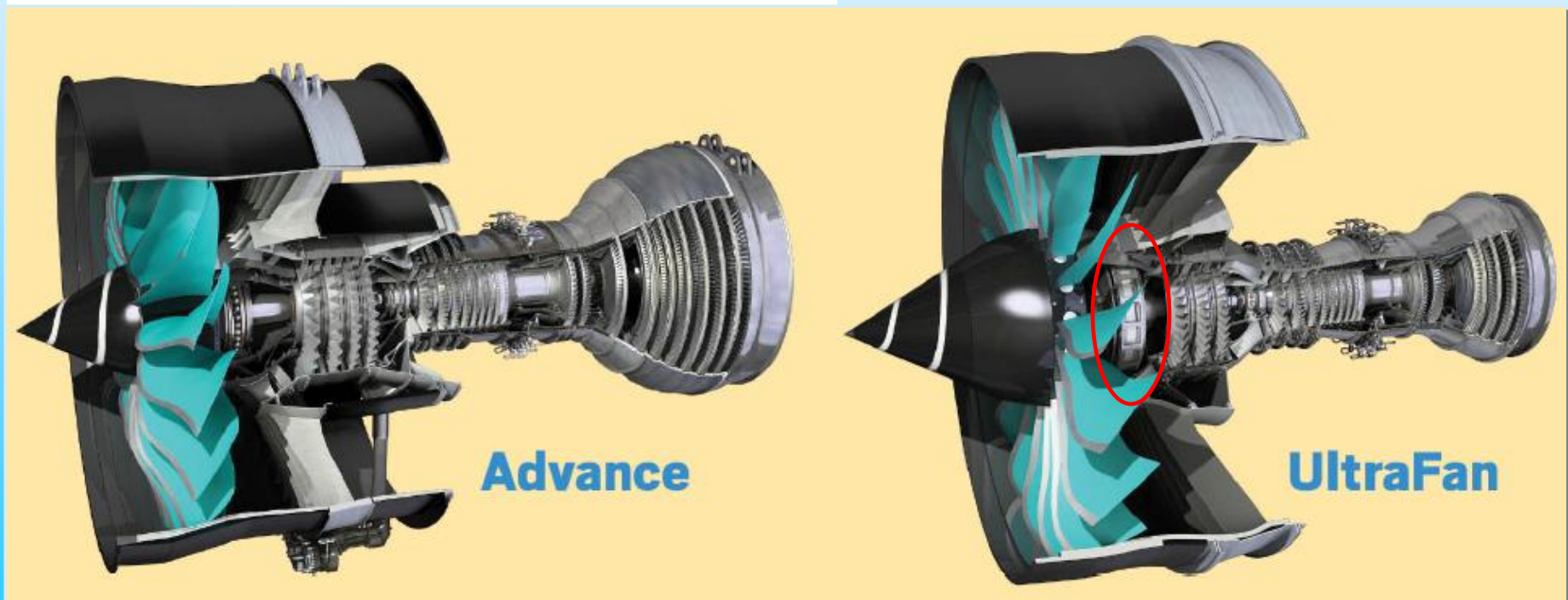


(annotations added)

Развитие двигателей нового поколения

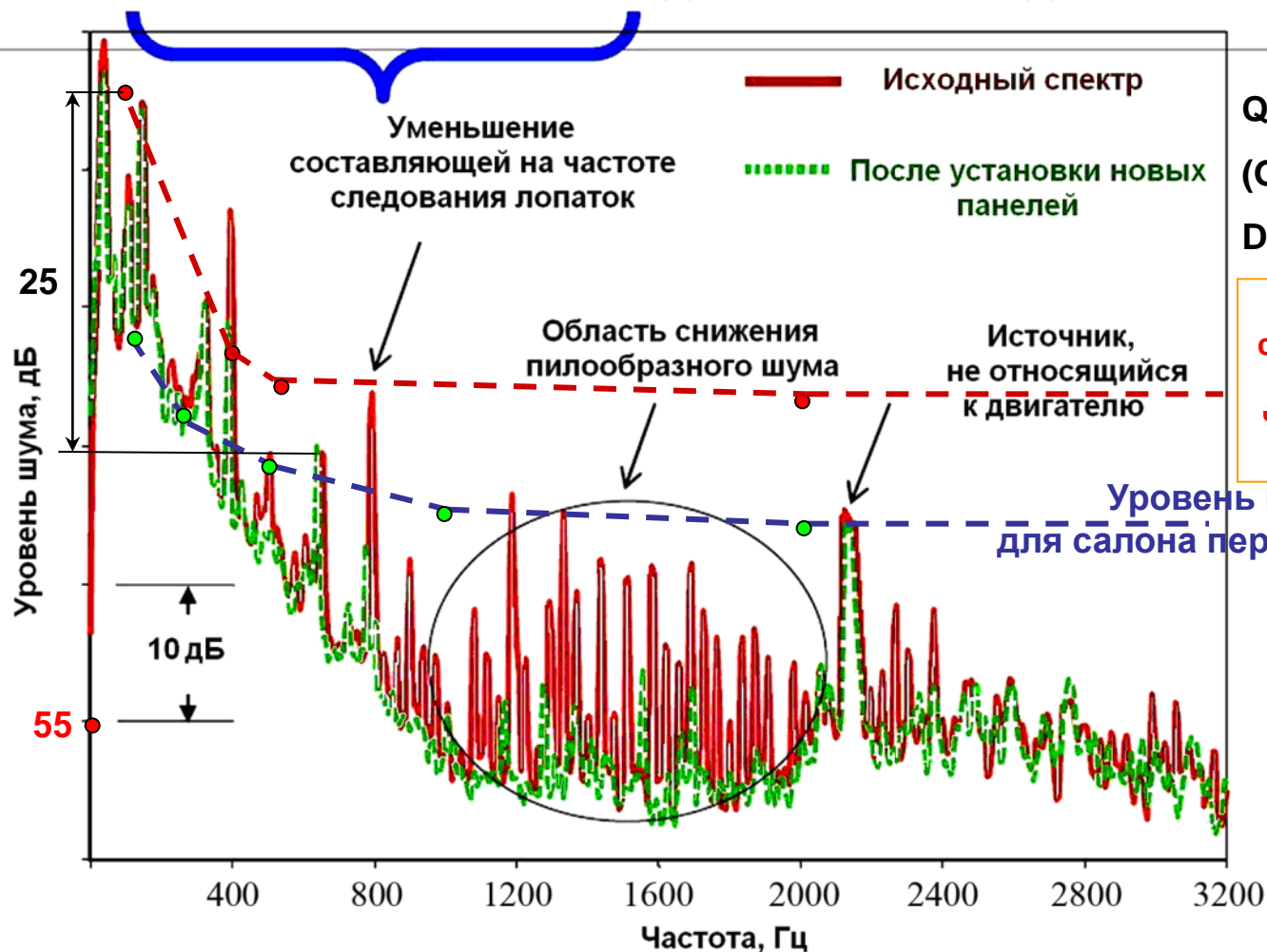
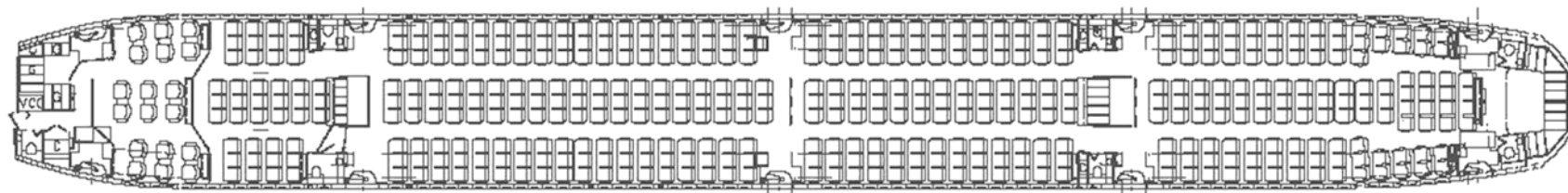


Сравнение схем двигателей
Leap-X и PW1000G



Новейшая стратегия RR

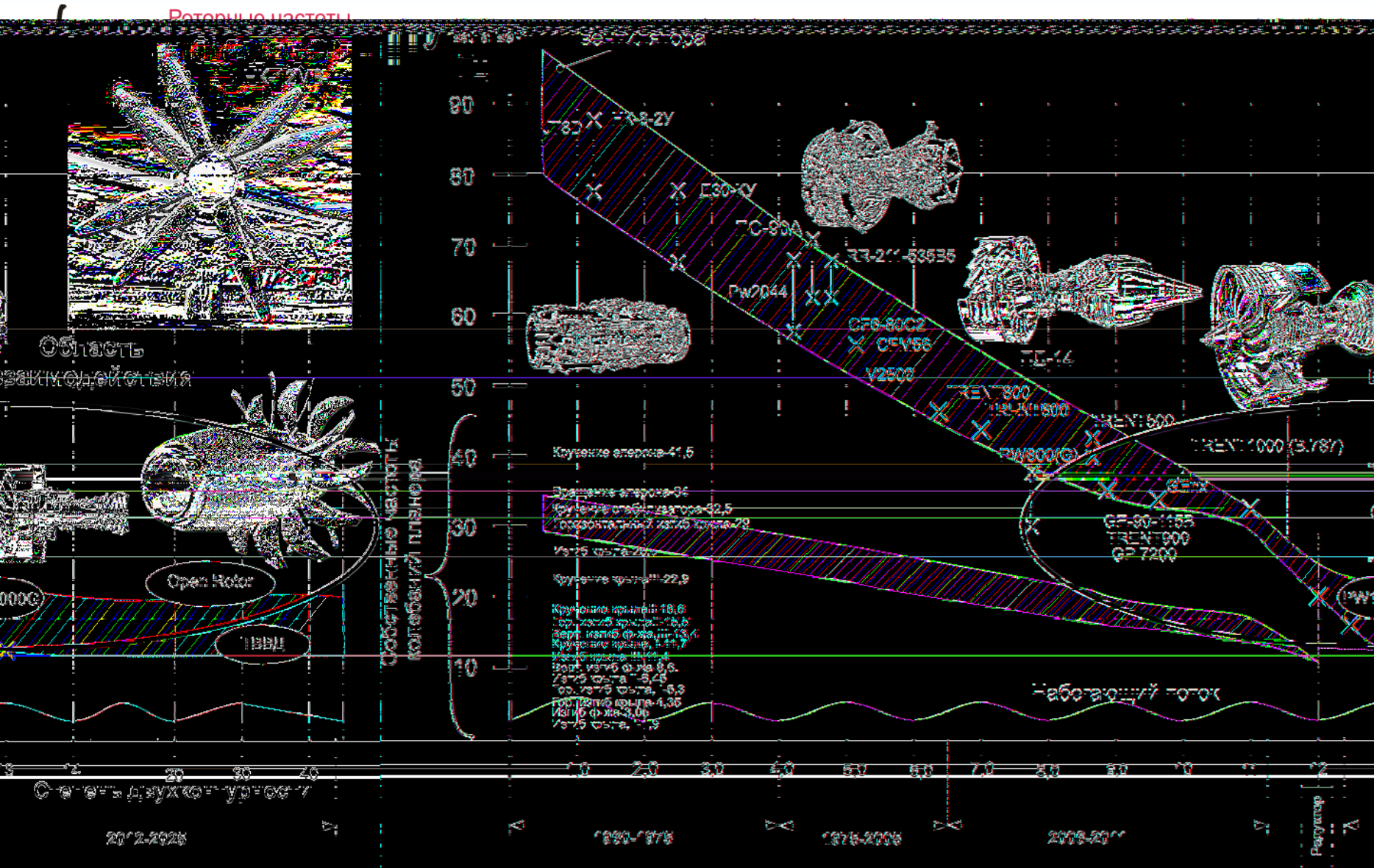
Спектр шума в передней части пассажирского салона

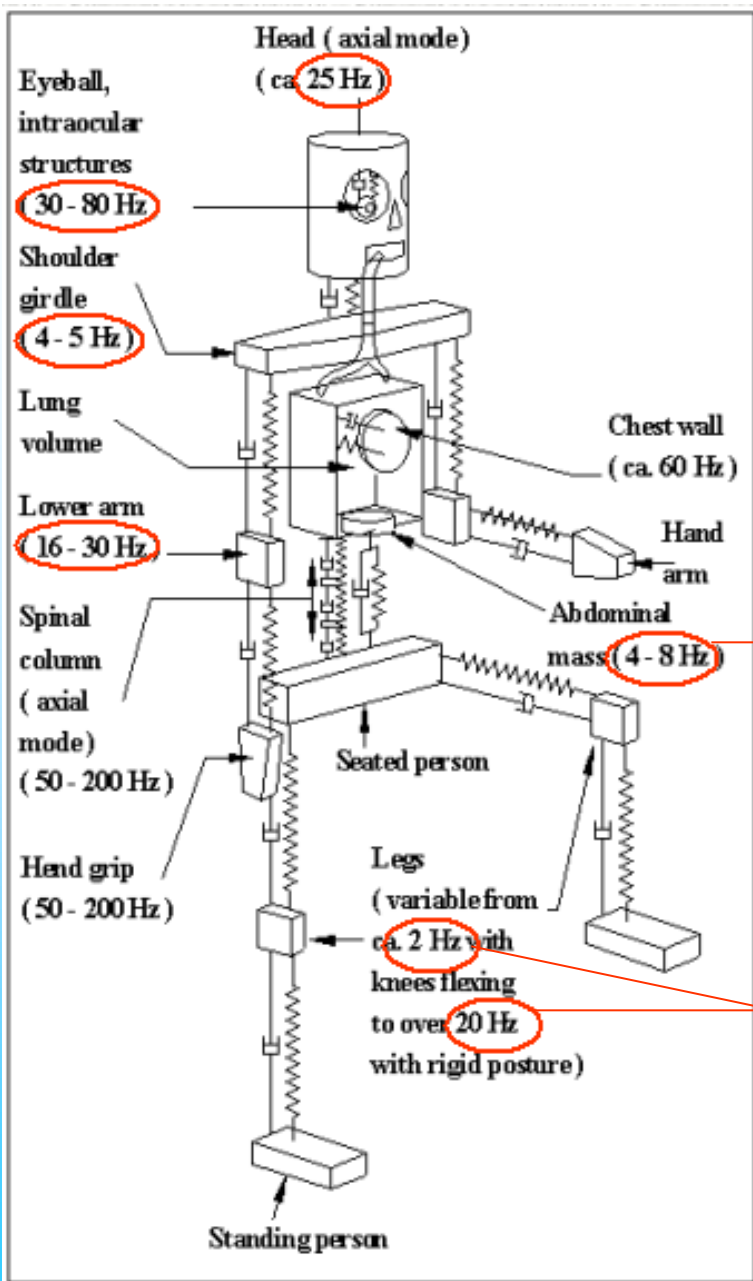


QTD 2 **B-777-300ER**
(GE-90-115B, m=8,6
Dв=3,25м)

Зона риска потери
слуха при воздействии
шума в течении 8
часов для пассажиров
50-60 лет

Эволюция двигателей и проблемы виброакустики





Вибрационная модель человека

(Per V. Brüel)

Comfort in Cars

Proc. of the 2nd Int. Conf. on Methodology and Innovation in Automotive Experimentation, Turin, Italy, 1988

Низкочастотные составляющие

Собственные частоты:

Голова:	25 Гц
Ноги:	2...20 Гц
Руки:	16...30 Гц
Кисти рук:	20...200 Гц
Глазное яблоко:	30...80 Гц
Грудная клетка:	60 Гц
Спинной хребет:	50...200 Гц

Влияние инфразвука на человека

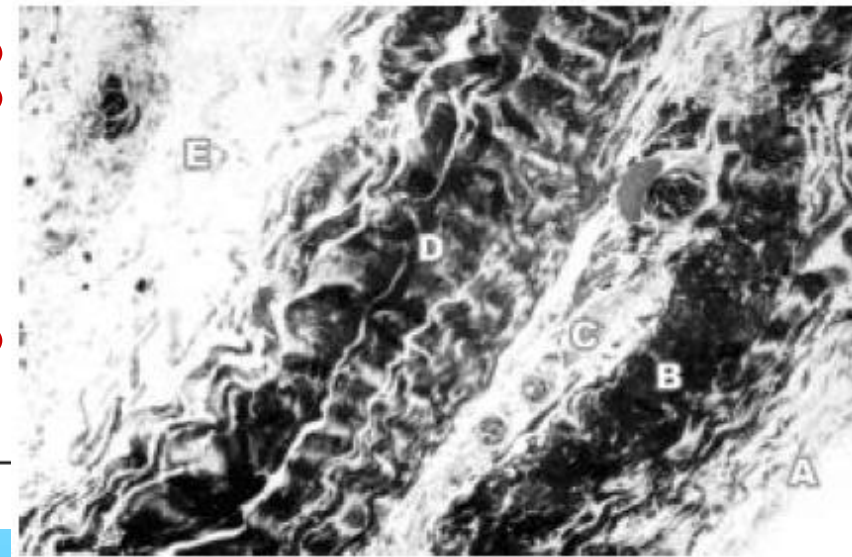
Статистические исследования

Table 1 - Summary of VAD patients' data

Occupation	Age	Pericardial Thickness (mm)*
Aircraft Technician	32	1.35
Aircraft Pilot	37	2.04
Aircraft Pilot	39	1.22
Aircraft Pilot	41	2.19
Aircraft Pilot	44	2.23
Helicopter Pilot	48	1.40
Aircraft Technician	51	1.60
Truck Driver	52	1.67
Helicopter Pilot	53	1.03
Helicopter Pilot	57	2.02
Helicopter Pilot	60	1.06
Aircraft Technician	62	1.09
Normal: <0.5mm		

В 2 - 4
раза

Перикард (оболочка сердца)

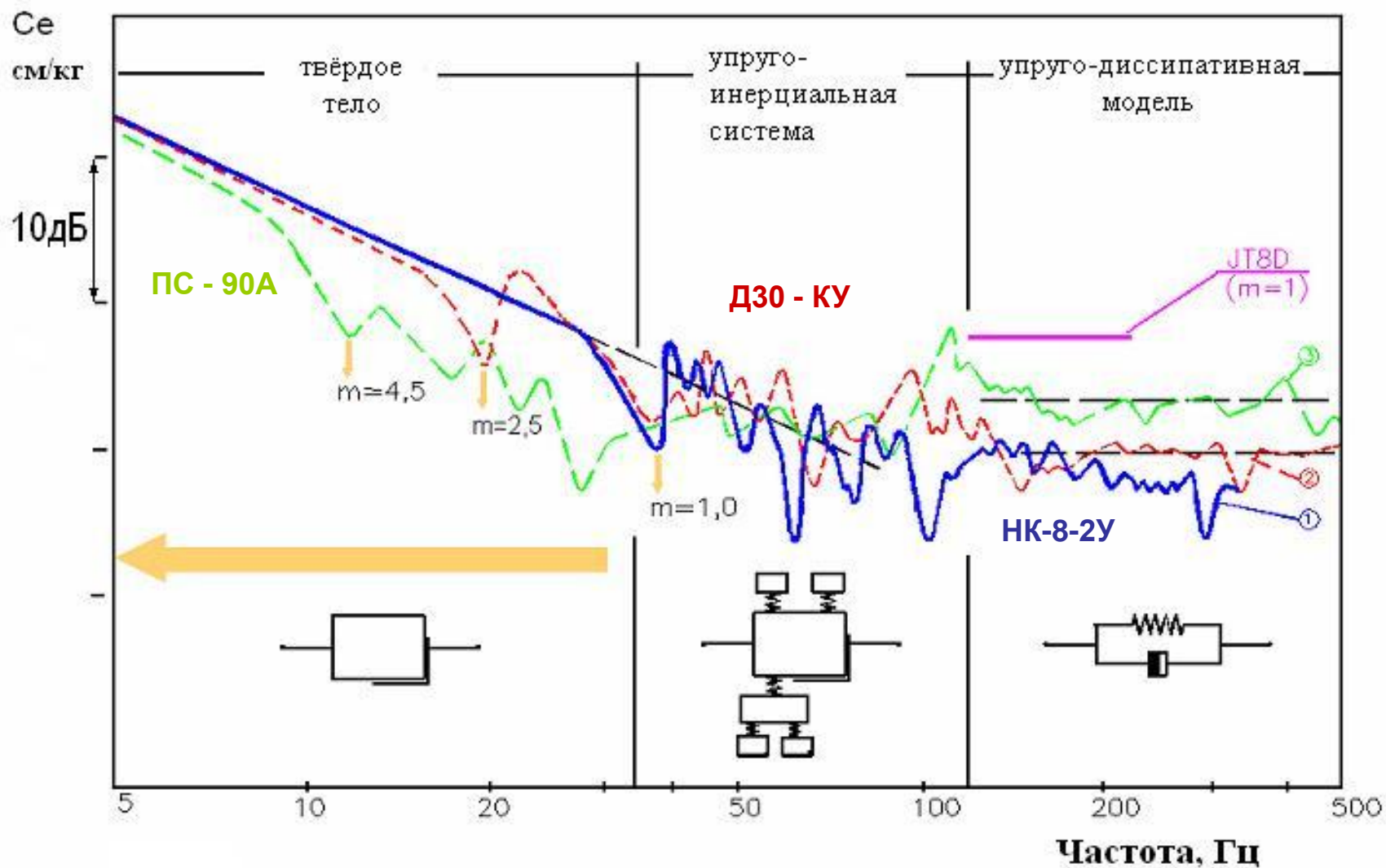


Данные предоставлены Center
for Human Performance,
Alverca, Portugal

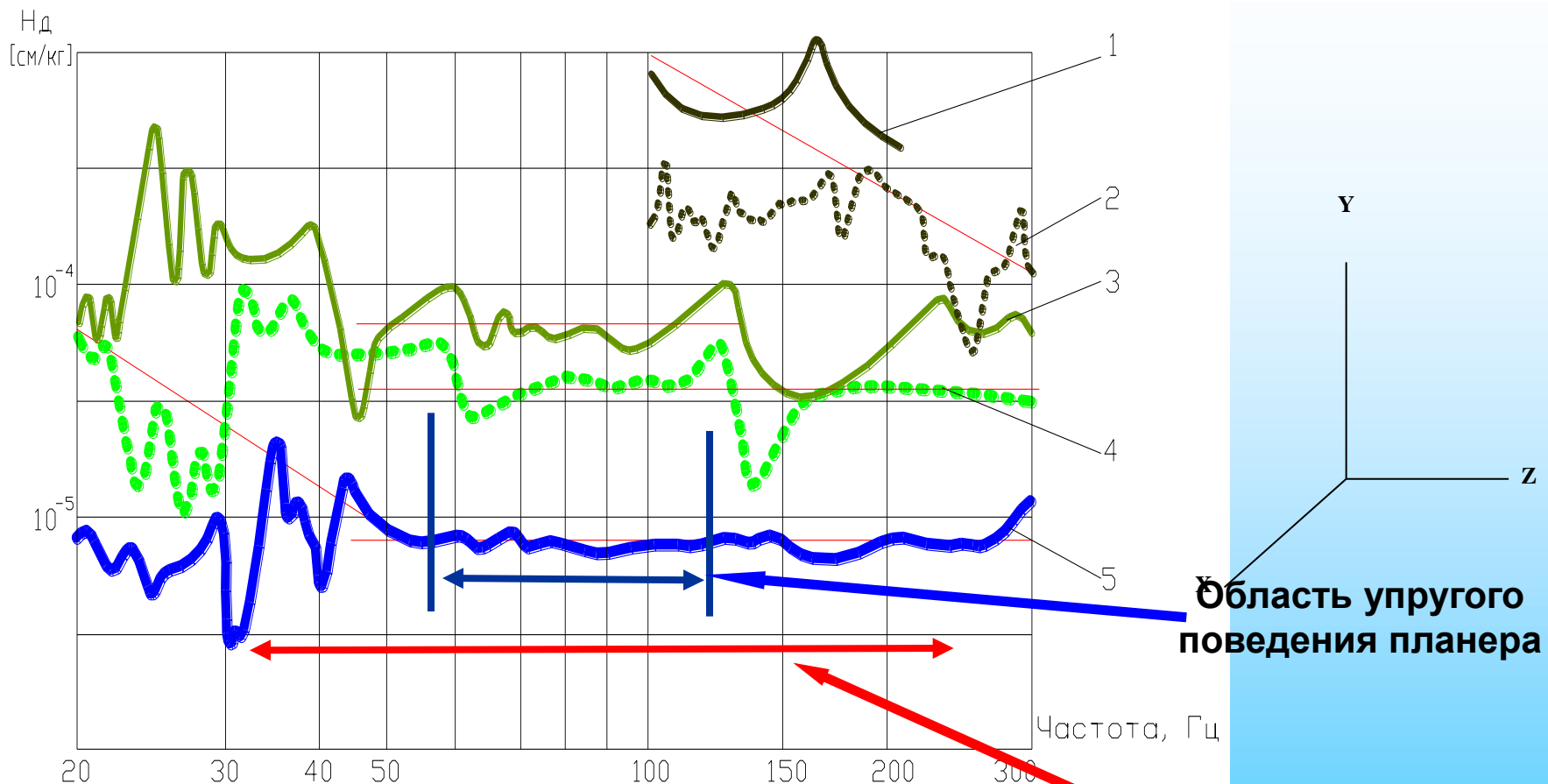
ICSV-Lisbon, 2005

Профессор Т. Matoba (Япония), в 1983 первым сообщил о наблюдениях об
утолщении перикарды у людей, работающих в условиях повышенного
шума

Модуль динамической податливости корпуса двигателя



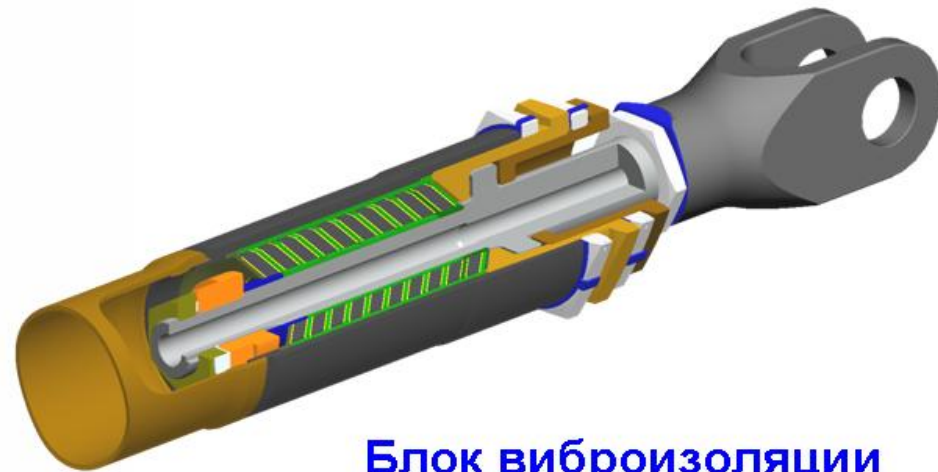
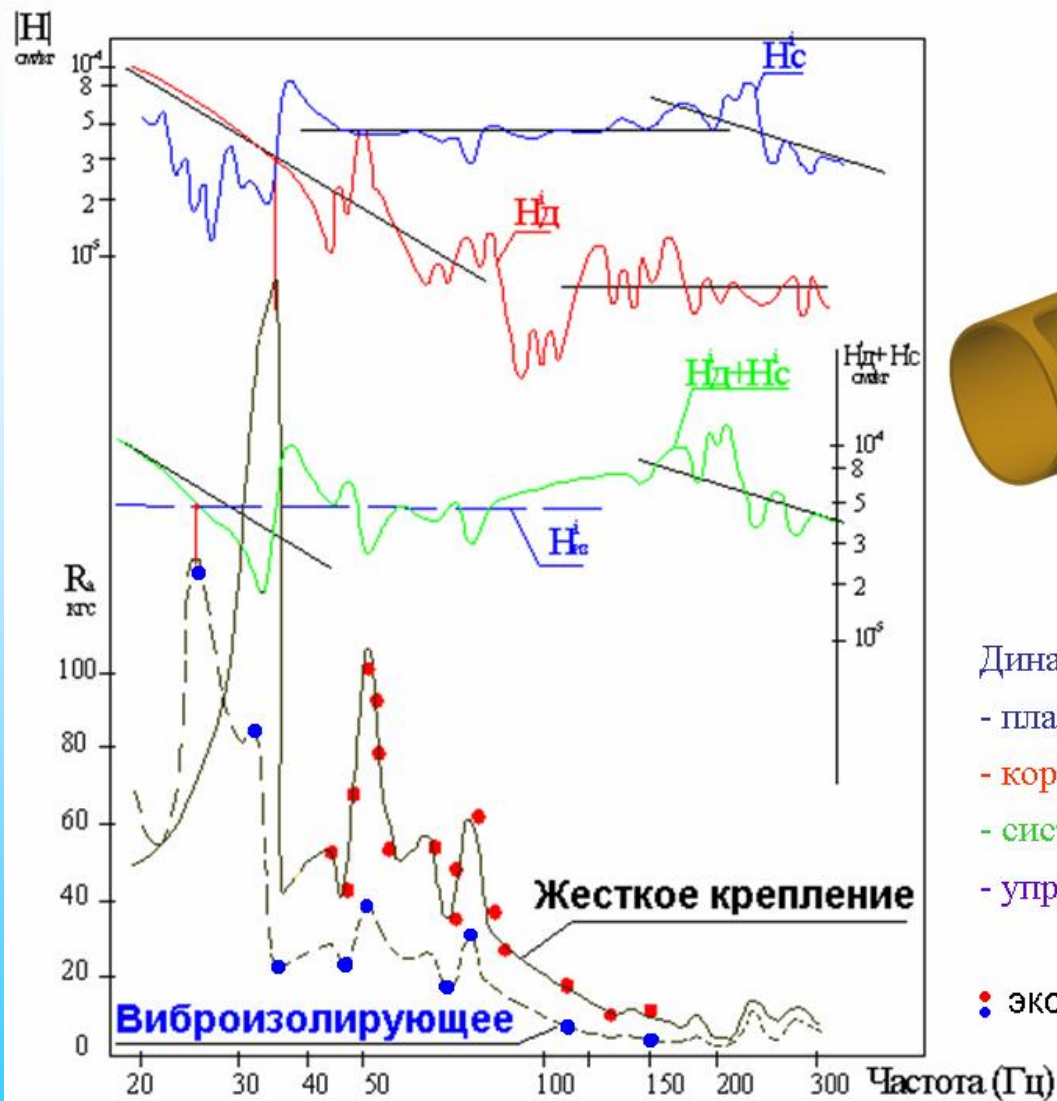
Динамическая податливость планера в точках крепления двигателя



- 1-кронштейн DC-9, 2- кронштейн Ту-154М
- 3-податливость планера в z-направлении
- 4- податливость планера в y-направлении
- 5- податливость планера в x-направлении

**Диапазон
роторных
частот
двигателя**

Оценка эффективности виброизоляции



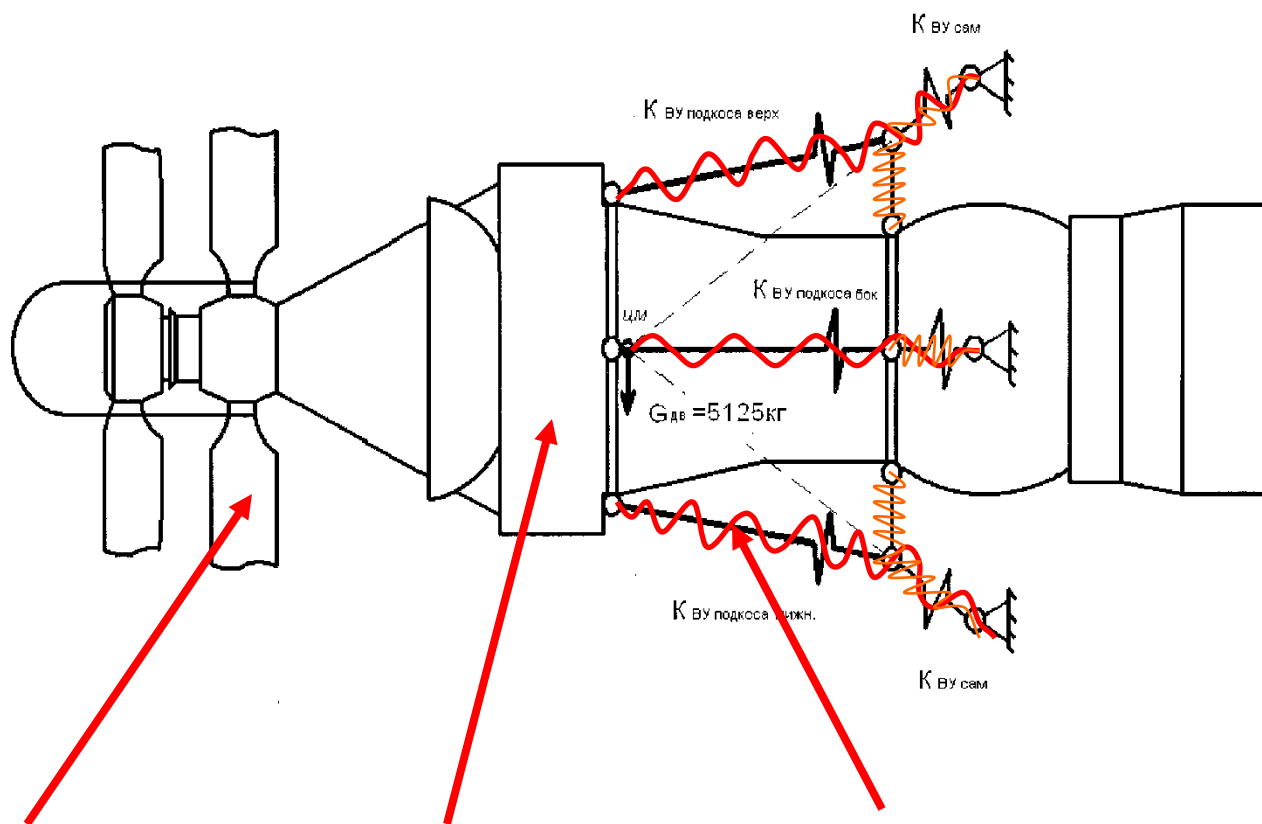
Блок виброизоляции

Динамическая податливость:

- планера (H_c),
- корпуса двигателя - (H_d),
- системы «двигатель-подвеска планер» ($H_d + H_c$)
- упругого изолятора ($H_{из}$)

• экспериментальные данные

Передача вибрационного воздействия двигателя через подкосы крепления

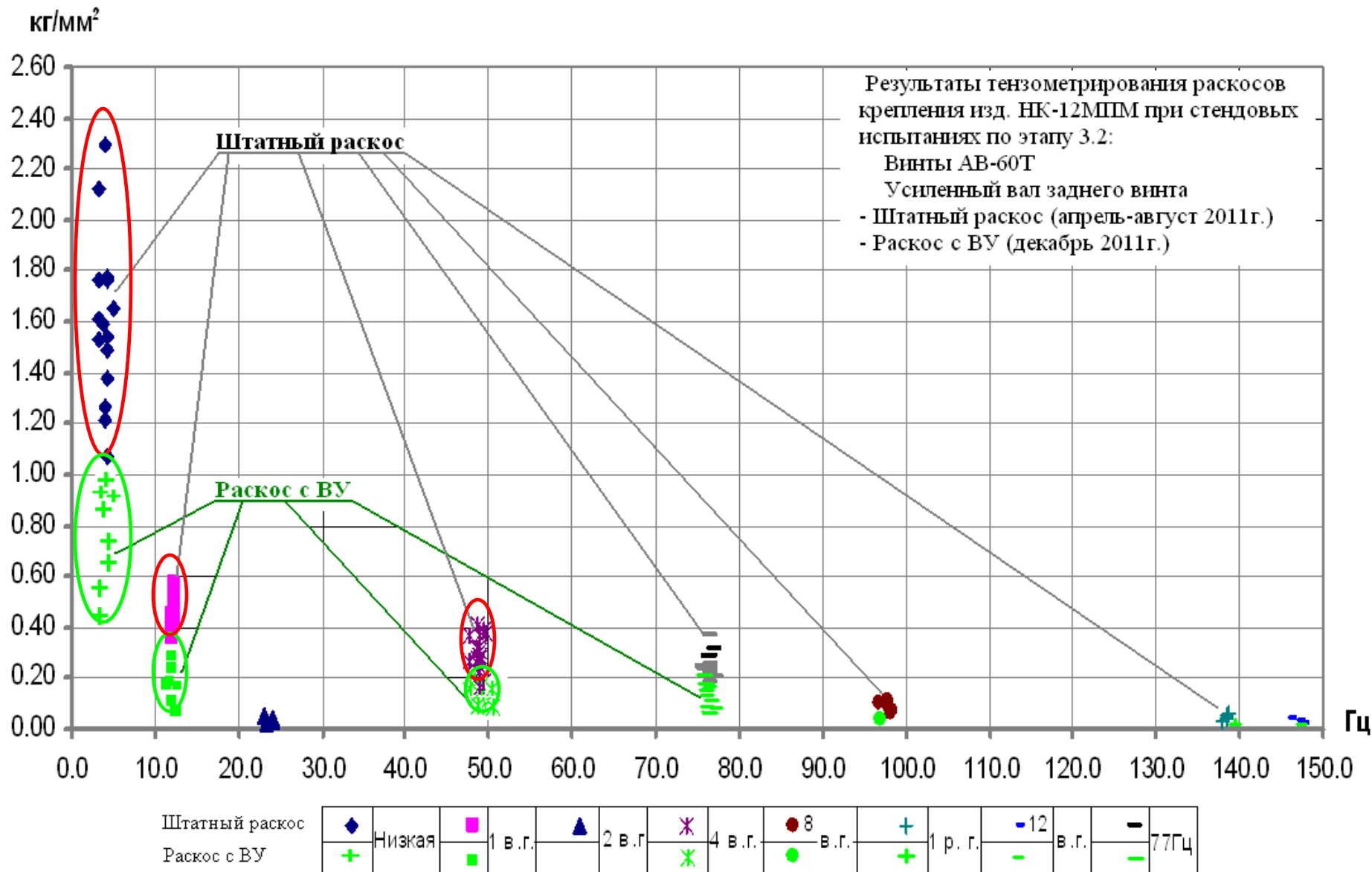


АВ-60Т

НК-12МПМ

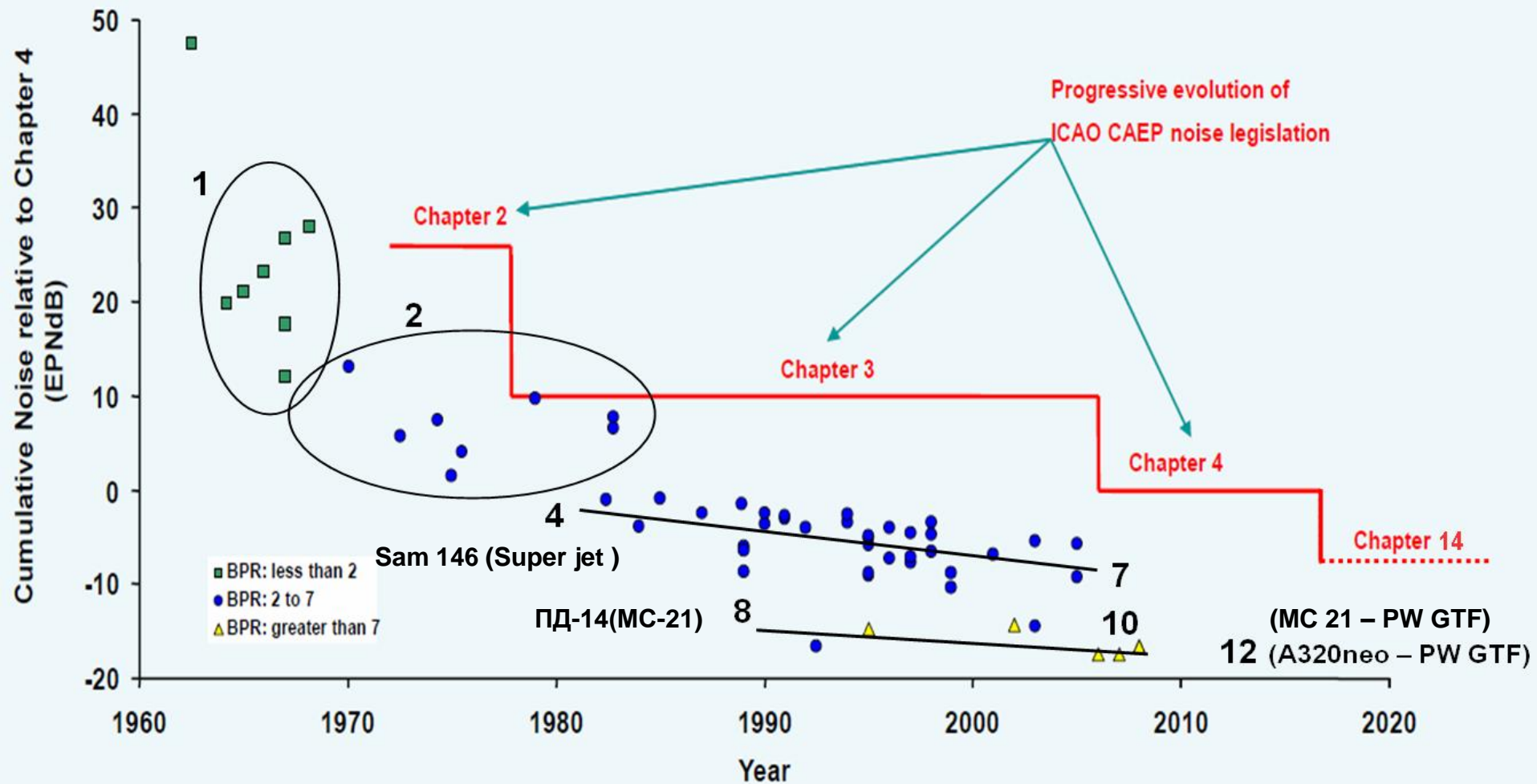
Подкосы с ВУ

Динамические напряжения в подкосе крепления



Эволюция норм шума

Evolution of ICAO Noise Standards

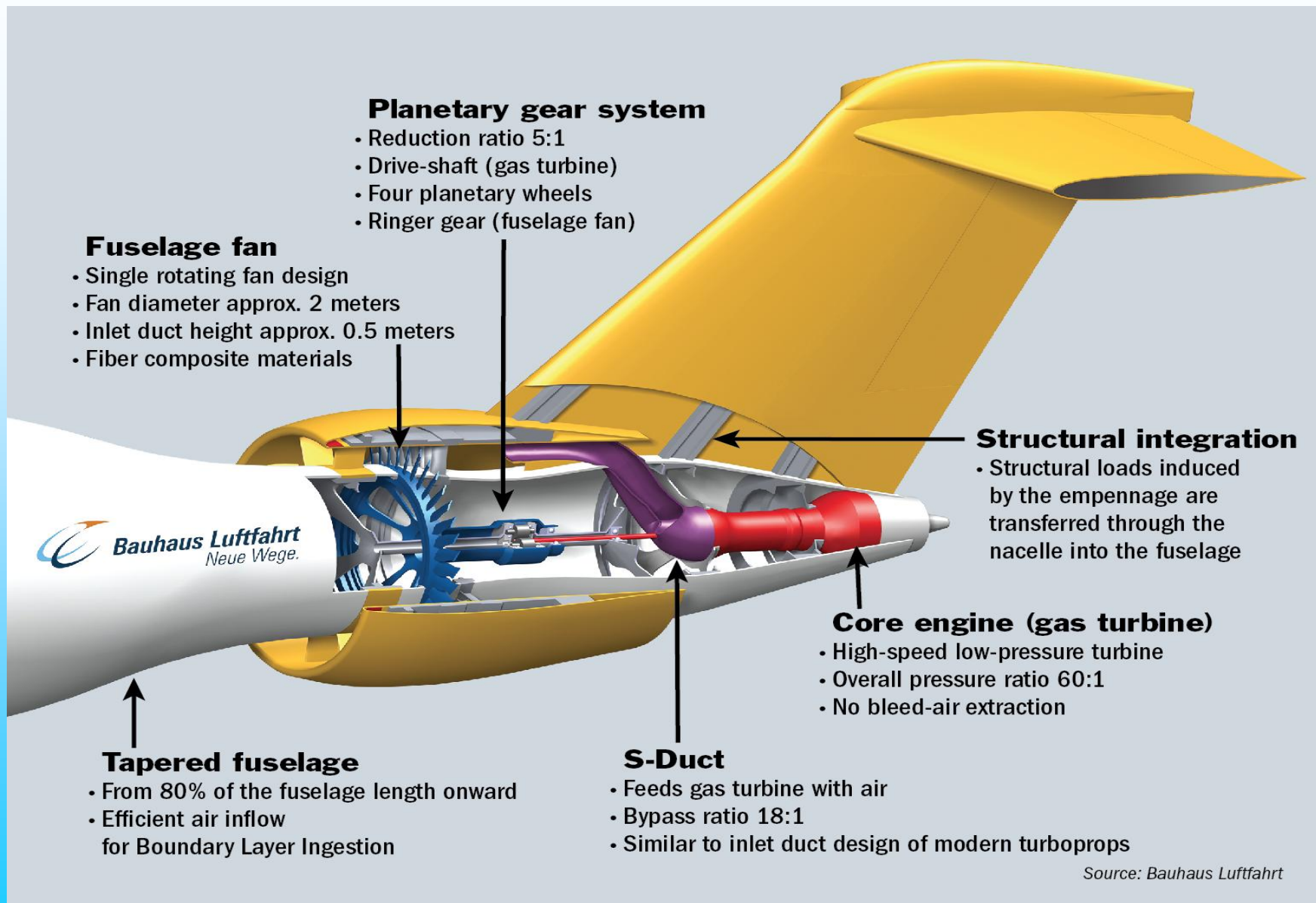


ВЫВОДЫ

- **Решение проблем шума на местности уже решается** переносом внимания :
 - с традиционных методов (установки ЗПК, от которых требуется широкое разнообразие и повышенная высота),
 - на методы борьбы с шумом в источнике (широкохордные лопасти вентилятора, технология блиск, актуаторы).
- **Решение проблем структурного шума** от вибрационного воздействия двигателей потребует:
 - создания нового поколения крепления двигателей (с встроенными низкочастотными блоками виброизоляции)
- **Защита от облучения гермокабины** потребует:
 - улучшения виброизолирующих свойств борта фюзеляжа в низкочастотном диапазоне (**ниже 600 Гц**).
- **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 превысить рекомендации санитарных норм и вызвать вопросы о безопасности полетов.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Силовая установка самолетов нового поколения



Европейский Проект ONERA



Возможные пути развития ГТД



Концепция фирмы CFM
двигателя по схеме
«открытый ротор»
(open rotor)



Исследуемые за рубежом
схемы перспективных
магистральных самолетов

