

# ШУМ

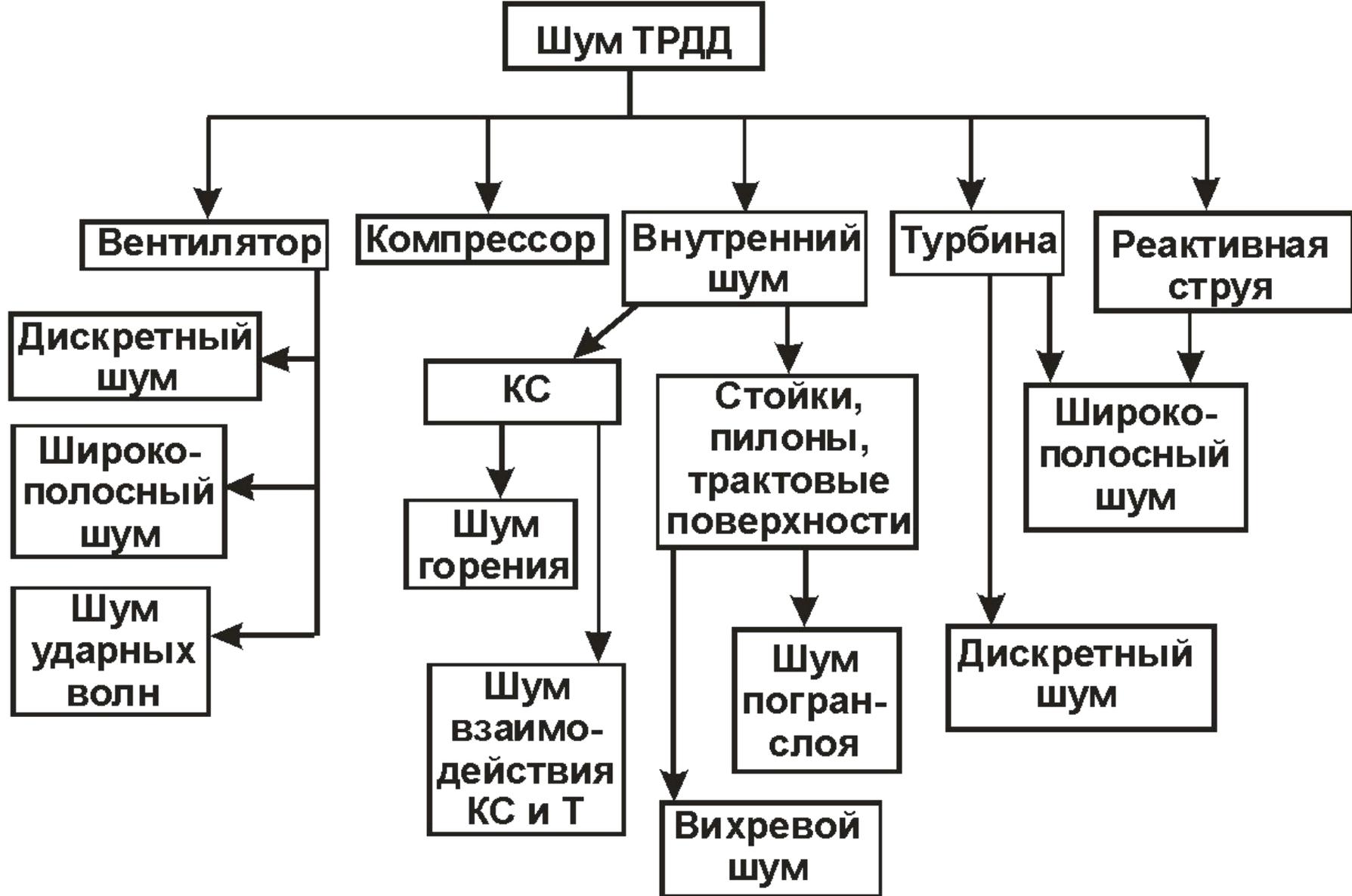
В середине прошлого века появились быстрые и вместительные самолёты с турбореактивными двигателями, такие как Ту-104, Боинг-707, DC-8 и др. Экономическая выгода использования этих машин была налицо, но оглушительный рёв могучих моторов раздражал людей, живших в окрестностях аэропортов. Посыпались протесты, которые часто принимали форму судебных исков против авиакомпаний и аэропортов.

В результате многочисленных жалоб населения на самолётный шум в 1969 году под эгидой ИКАО была созвана специальная конференция, на которой выработаны основные принципы его оценки, ограничения и акустической сертификации новых типов летательных аппаратов.

Уже в 1972 году нормы ИКАО были введены в действие.

Дважды — в 1976 и 2001 годах — нормы ужесточались.

Основной шум производят двигатель и планер самолётов. При разбеге и взлёте доминирует шум двигателя; при крейсерском полёте и посадке шум, вызываемый обтеканием воздухом элементов планера, приближается по уровню к шуму двигателя.



**Дискретный шум обусловлен вращением ротора или его взаимодействием со статором.**

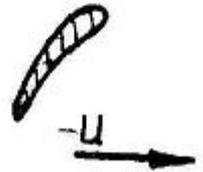
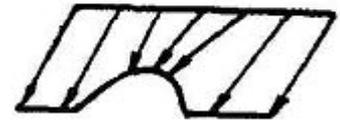
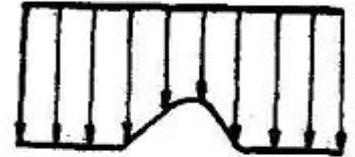
**Широкополосный шум возникает при взаимодействии случайной неоднородности потока с профилями лопаточных венцов**

# ОБРАЗОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО ШУМА

Физика образования дискретного шума заключается в том, что периодическая неоднородность потока на входе в рабочее колесо приводит к нестационарному обтеканию лопаток РК в вентиляторе.

При попадании лопатки в аэродинамическую тень от препятствия (впадина на профиле абсолютных скоростей) относительная скорость изменяется по величине и направлению. Следовательно, изменяется угол атаки и перед РК возникает пульсирующее поле потока.

При вращении ротора каждая лопатка РК пересекает пульсирующее поле потока, что вызывает периодические пульсации давления, которые и являются источниками дискретного шума.



# **ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ШУМ**

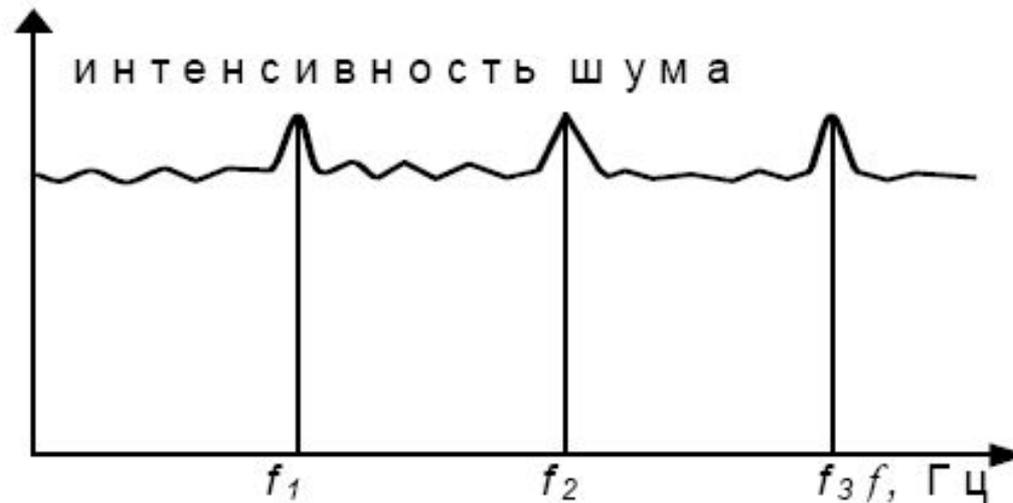
**Случайная неоднородность потока, связанная с мелкомасштабной турбулентностью, которая возникает на входе, либо генерируется в пограничном слое на стенке корпуса или на лопатках, либо возникает в следах за лопатками, вызывает случайную неравномерность поля скоростей и пульсации угла атаки потока на входе в рабочую решетку.**

**В результате возникают местные пульсации давления на поверхности лопаток РК и пульсации подъемной силы, действующей на лопатку. Пограничный слой, образующийся в периферийной области проточной части вентилятора, также взаимодействует с концевыми участками лопаток, движущихся с большой скоростью.**

**Спектр широкополосного шума является сплошным и гладким. Основными факторами, определяющими уровень такого шума, являются относительная скорость на периферии лопаток РК и аэродинамическая нагрузка на решетки.**

# ИСТОЧНИКИ ШУМА

Источники акустического шума двигателя, как правило, аэродинамические. Среди них наиболее интенсивными являются шумы винта (вентилятора), компрессора, камеры сгорания, турбины, реактивной струи. Шумы лопаточных машин (винта, вентилятора, компрессора и турбины) имеют сплошной спектр с многочисленными дискретными составляющими



Шум со сплошным спектром возбуждается турбулентностью потока вблизи границ обтекания лопаток, вихреобразованием вблизи задней кромки профиля лопатки, случайной неоднородностью потока на входе в рабочее колесо (неоднородность температуры и плотности воздуха – «воздушная яма»; стрельба из бортового оружия, пуски ракет и т.п.).

# ШУМ ВХОДА И ВЫХОДА

## Входное устройство

Входное устройство генерирует шум при взаимодействии турбулентной струи со стенками воздухозаборника и обтекании стоек и срыве с них потока



## Выходное устройство

Шумы в выходных устройствах возникают при смешении истекающей газовой струи с окружающим воздухом. Их интенсивность зависит от диаметра истекающей струи (диаметра реактивного сопла) и ее скорости. Акустическая мощность дозвуковой струи может быть определена по формуле

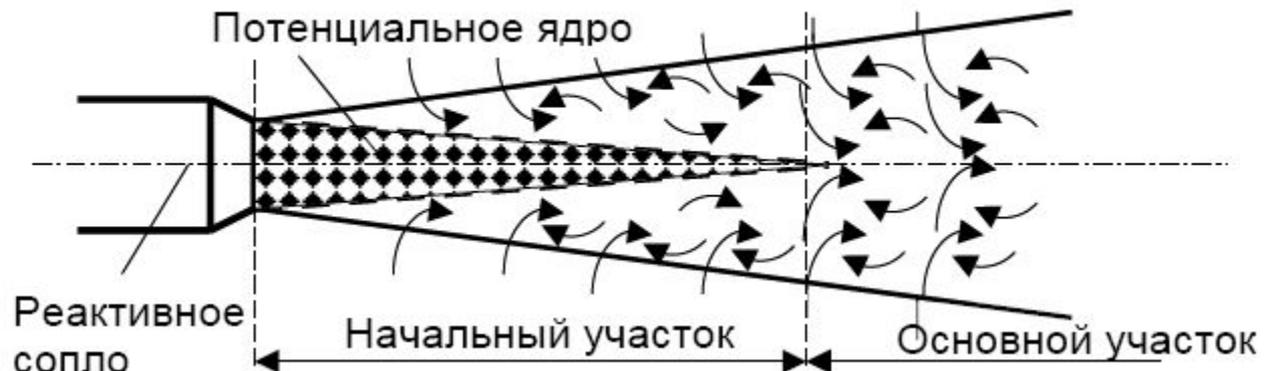
$$W = k \frac{\rho U_c^8 d_c^2}{a^5}, \text{ Вт,}$$

где  $k \sim (0,3...2,0) \cdot 10^{-4}$ ;

$d_c$  – диаметр среза сопла;

$U_c$  – средняя скорость

истечения газа;  $a$  – скорость звука.



# РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШУМА

Частотный диапазон такого шума достаточно широк – до 50...100 кГц, максимум мощности приходится в зависимости от скорости истечения струи на диапазон частот от 1,5 до 15 кГц.

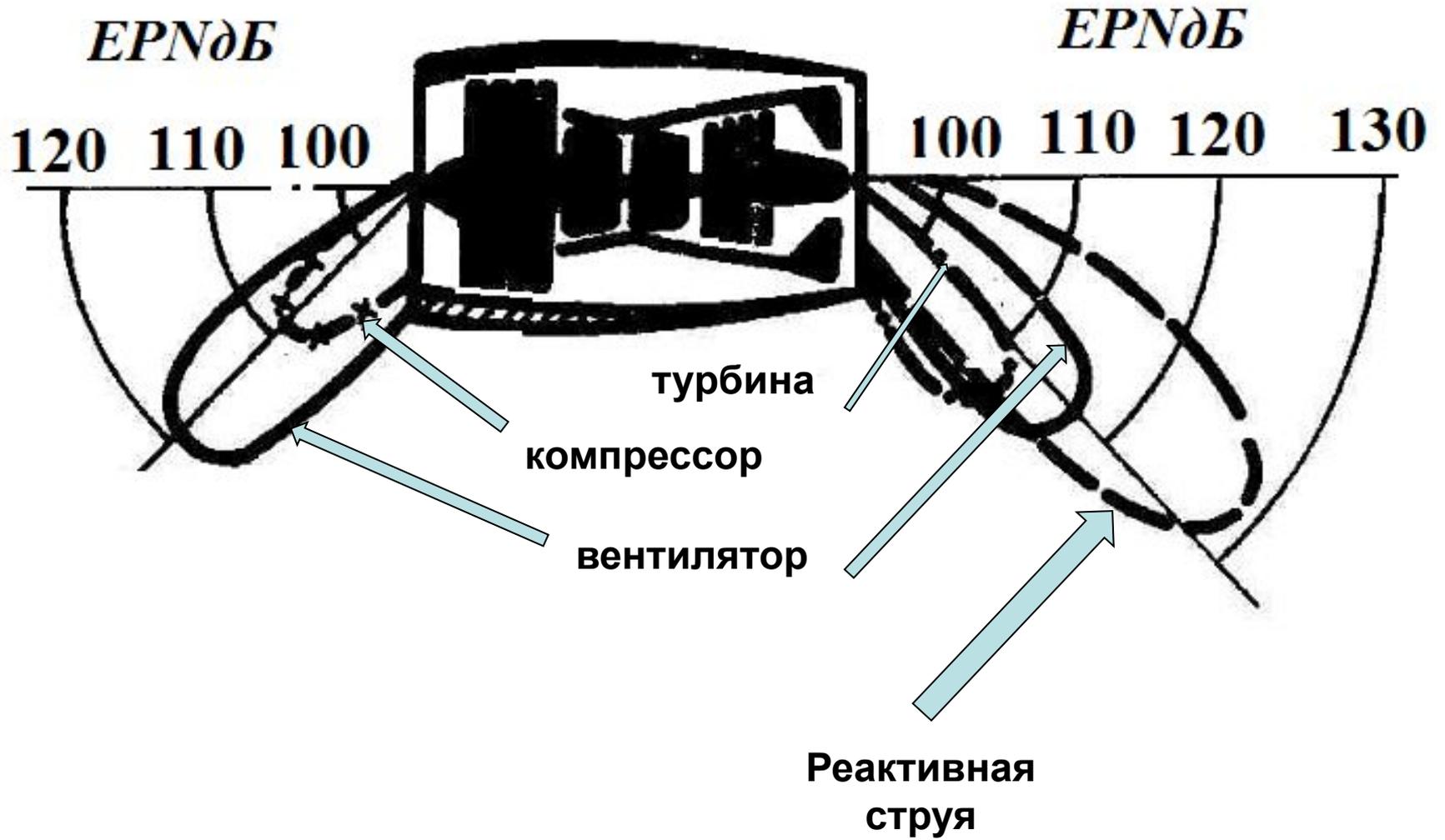
При нормальной работе камеры сгорания она генерирует широкополосный шум за счет вихрей в зоне обратных токов. На нерасчетных режимах к этому шуму добавляются составляющие от колебаний столба газа, возникающих при вибрационном горении, автоколебаниях, неравномерности подачи топлива.

Акустический шум двигателя распространяется непосредственно в воздушной среде в основном в переднем секторе со стороны входа в двигатель и в заднем – за реактивным соплом



Распространение шума через конструкцию в стороны от двигателя связано с частичным отражением и поглощением звуковых волн элементами конструкции (корпусом двигателя, вторым контуром, мотогондолой).

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ ШУМА



# ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ШУМА

Уровень шума чаще всего измеряют в децибелах.

Сила звука в децибелах:

Разговор: 40—45

Офис: 50—60

Улица: 70—80

Фабрика (тяжелая промышленность): 70—110

Старт реактивного самолёта: 120

**Децибел** — логарифмическая единица уровней, затуханий и усилений. Величина, выраженная в децибелах, численно равна десятичному логарифму безразмерного отношения физической величины к одноимённой физической величине, принимаемой за исходную, умноженному на десять

$$A_{dB} = 10 \lg \frac{A}{A_0}$$

где  $A_{dB}$  — величина в децибелах,  
 $A$  — измеренная физическая величина,  
 $A_0$  — величина, принятая за базис.

# ОЦЕНКА УРОВНЯ ШУМА

Раздражающее воздействие авиационного шума на человека зависит не только от уровня звукового давления, измеряемого в децибелах (дБ), но и от частоты, генерируемой источником.

Поэтому для оценки шума самолета в условиях полета и двигателей в наземных условиях обычно используют так называемый эффективный уровень воспринимаемого шума, измеряемый в EPN дБ.

Это комплексная величина, получаемая на основе спектрограмм, получаемых в определенных точках измерения на определенных расстояниях, оговоренных действующими стандартами по авиационному шуму.

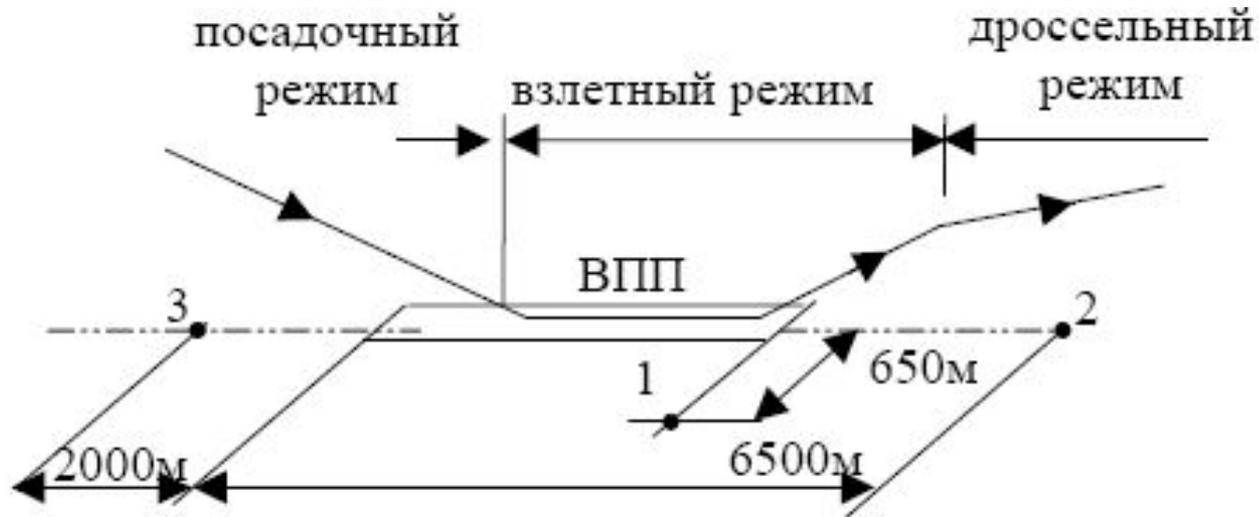
Уровни шума регламентируются национальными стандартами или международным стандартом ИКАО в зависимости от взлетной массы самолета, числа двигателей, тяги двигателей на взлетном режиме и т.п.).

Шум двигателей на самолете оценивается как по национальным стандартам, так и по нормам ИКАО, в трех контрольных точках.

По отечественным стандартам эти точки расположены:

- 1) на расстоянии 650 м сбоку от оси ВПП;
- 2) на расстоянии 6500 м от начала разбега самолета в сторону взлета;
- 3) на расстоянии 2000 м от посадочного торца ВПП.

# ЗАМЕР УРОВНЯ ШУМА

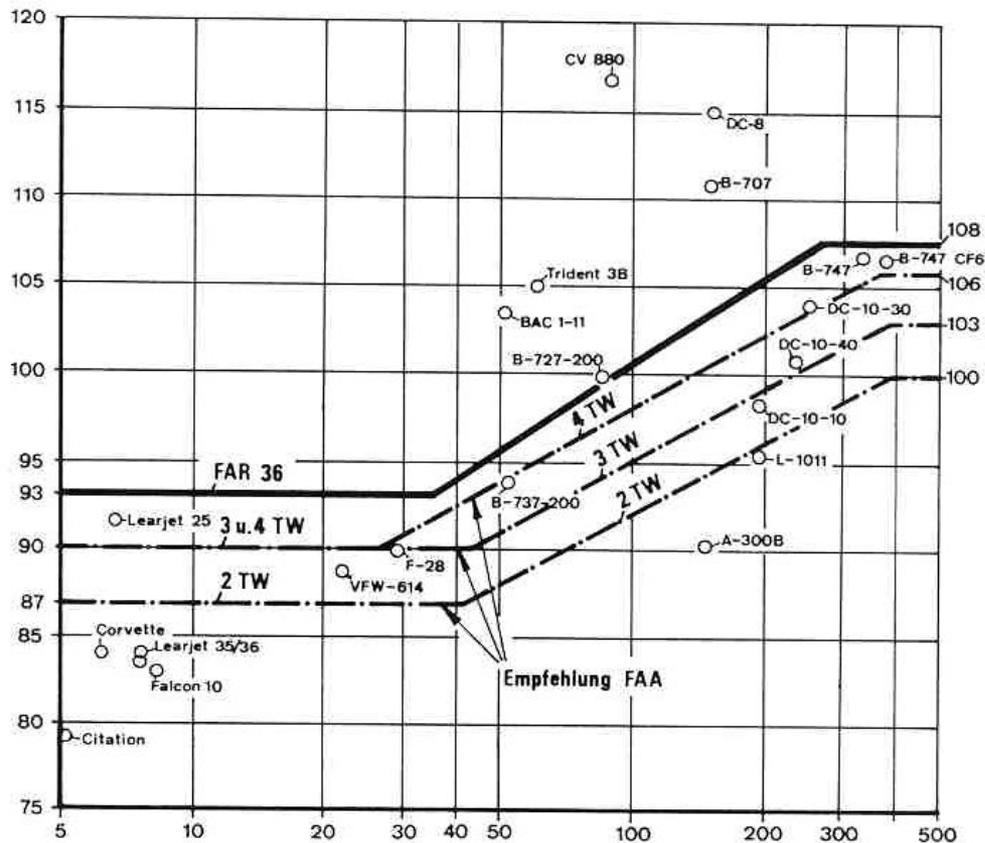


На линии, проходящей через точку 1 параллельно ВПП, через каждые 500 метров устанавливается ряд микрофонов. Показания микрофона с максимальным уровнем шума самолета в EPN децибелах определяют уровень шума в контрольной точке (КТ)1. КТ 2 расположена под траекторией взлета на расстоянии 6,5км от начала разбега на продолжении оси ВПП по направлению полета.

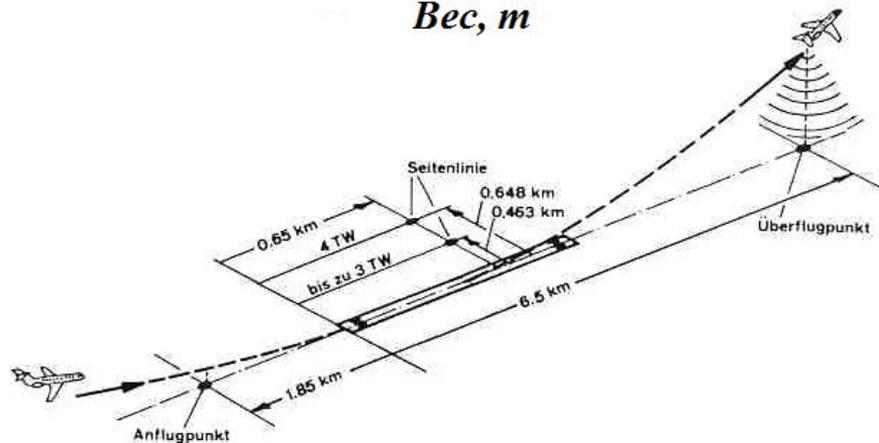
КТ 3 (при заходе на посадку) расположена на расстоянии 2км от Посадочного торца ВПП вдоль ее оси против направления полета. При стандартном угле глиссады  $3^{\circ}$  высота пролета над КТ 3 составляет около 120м. Высота пролета самолета над КТ 2 зависит от аэродинамических характеристик самолета и составляет 300...400м.

# НОРМЫ США FAR 36

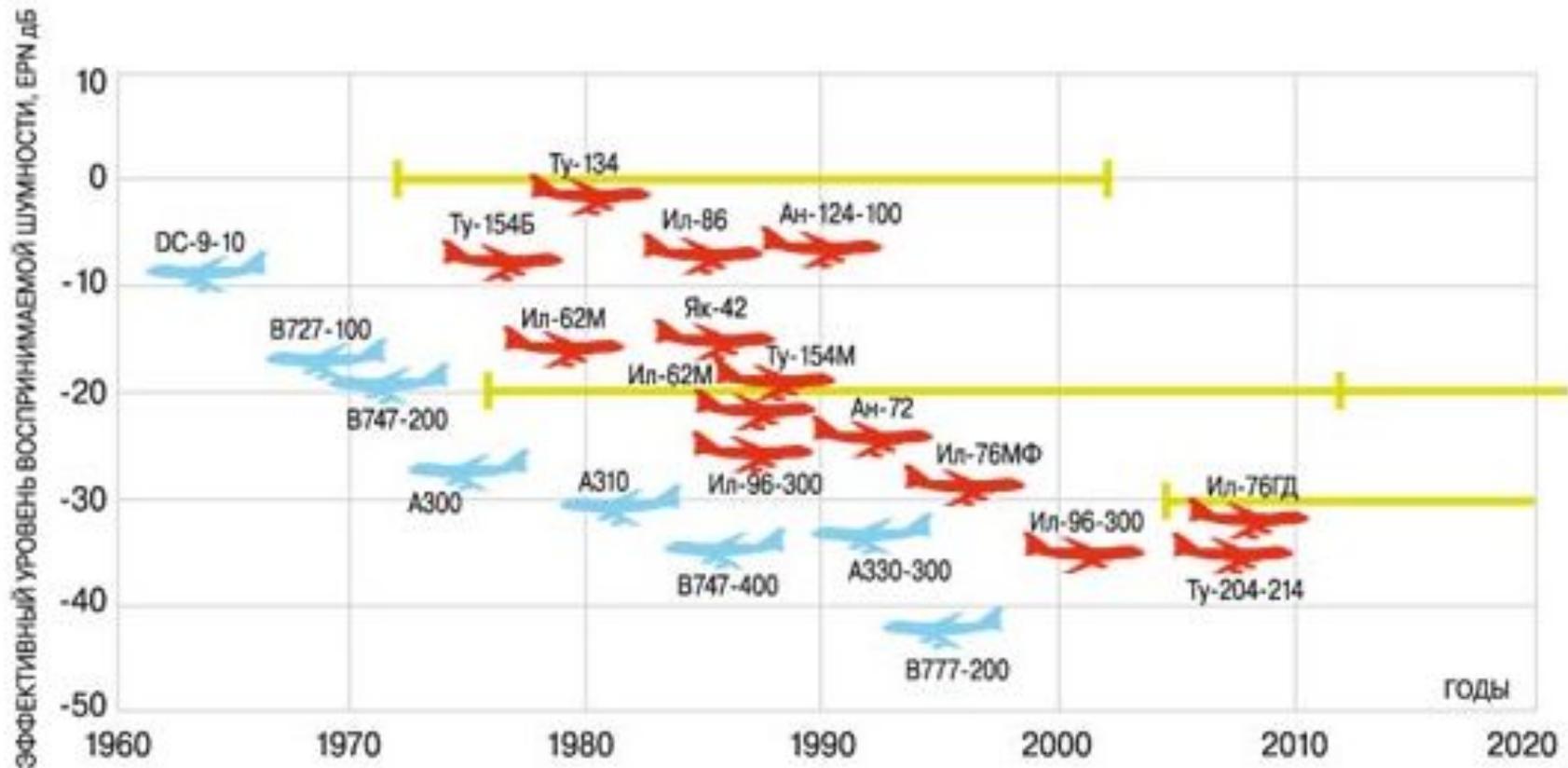
Уровень шума, ЕРНДБ



Вес, m



# НОРМЫ УРОВНЯ ШУМА



**Первые нормы, регламентирующие шум, введены в 1971 году. Срок их действия закончился в 2003 году. В 1976 году ввели более жёсткие нормы, которые действуют в настоящее время. После 2012 года будут обязательными нормы, введенные в 2001 году.**

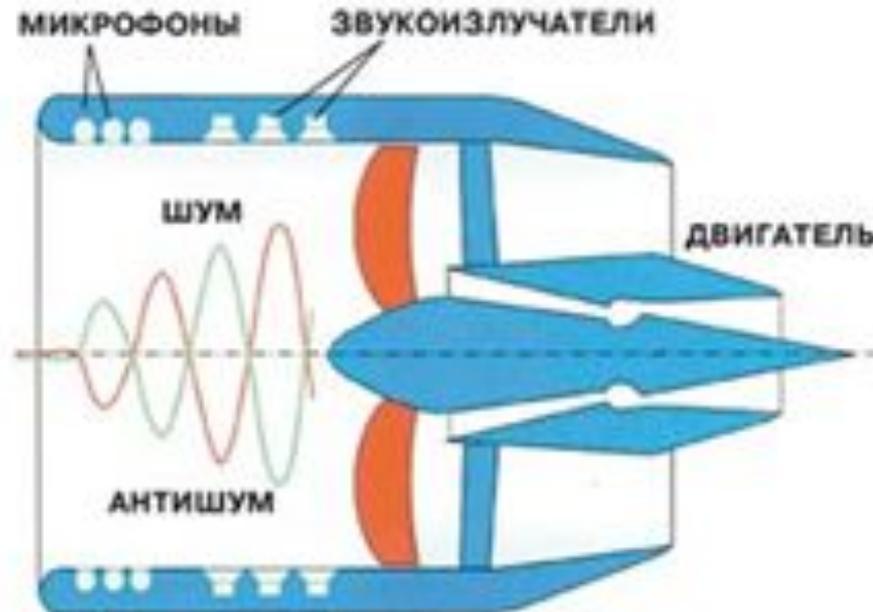
# МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМА

Их можно разделить на активные и пассивные.

Активные методы воздействуют на процесс шумообразования и способствуют образованию меньшего шума в самом источнике.

Пассивные предупреждают снижение уже образовавшегося шума на пути его распространения в газовоздушном тракте и воздухозаборнике.

Из активных методов можно отметить принцип противошума, который заключается в облучении звуковых волн, распространяющихся по тракту ГТД, звуковыми колебаниями с противоположной фазой. Бурное развитие современной электроники делает этот метод реальным в настоящее время.



# ПАССИВНЫЕ МЕТОДЫ

Они заключаются в разработке специальных конструктивных решений и использовании специальных звукопоглощающих конструкций (ЗПК).

Для снижения шума реактивной струи используются следующие способы

- Использование смесителей
- Применение высокой степени двухконтурности
- Использование скошенных воздухозаборников и шевронных сопел

Смеситель повышает трение между слоями потока воздуха, на что и тратится энергия звуковых волн.

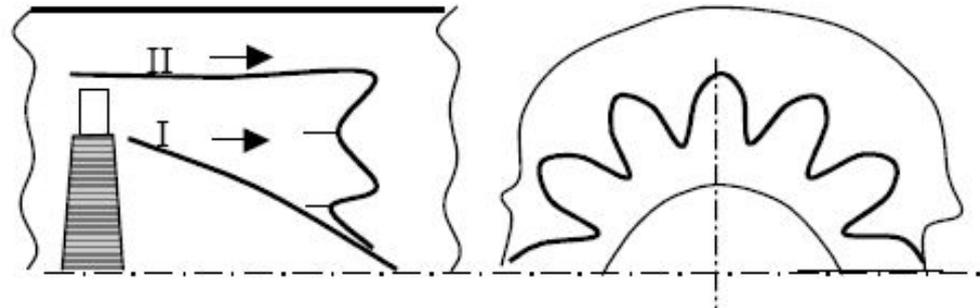
Высокая степень двухконтурности позволяет снизить шум струи на выходе за счет снижения скорости истечения, поскольку шум пропорционален скорости истечения в 8 степени.

$$W = k \frac{\rho U_c^8 d_c^2}{a^5}, \text{ Вт,}$$

## Шевронное сопло

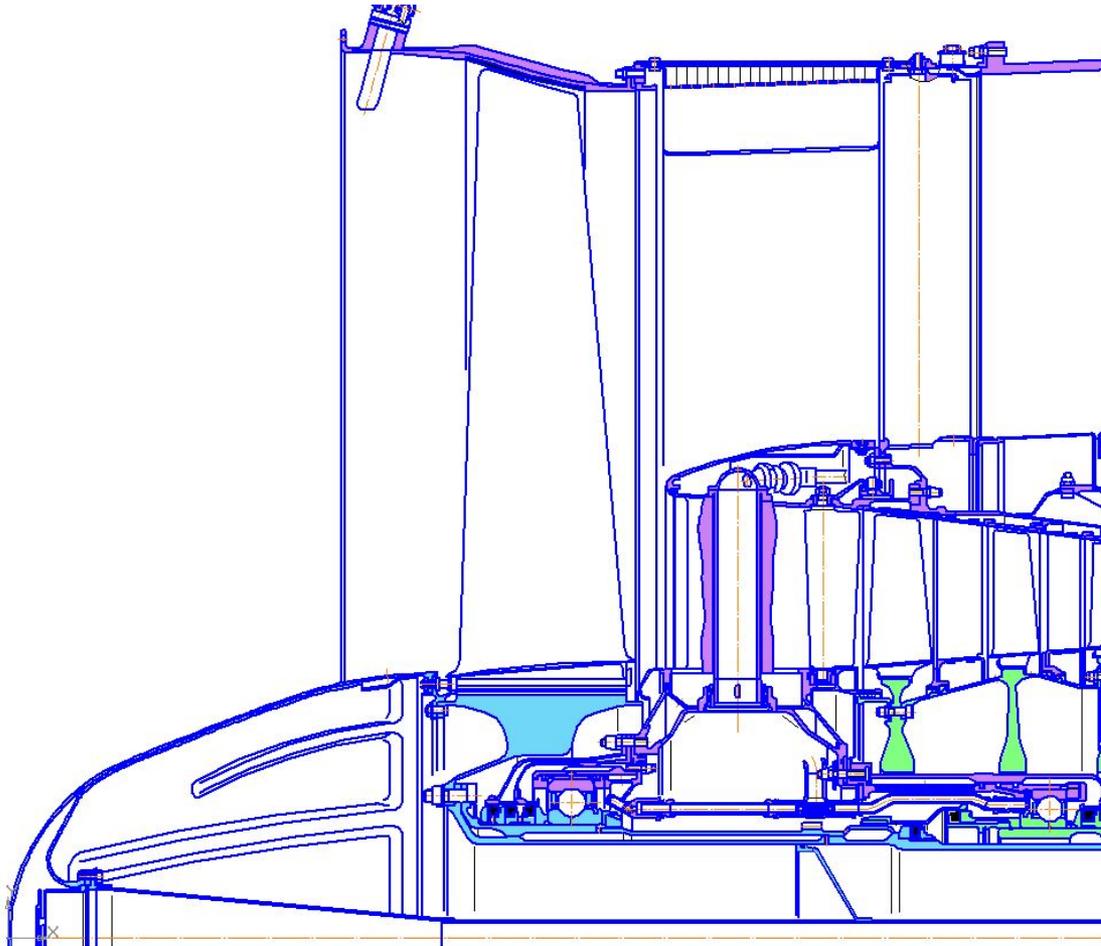


## Смеситель



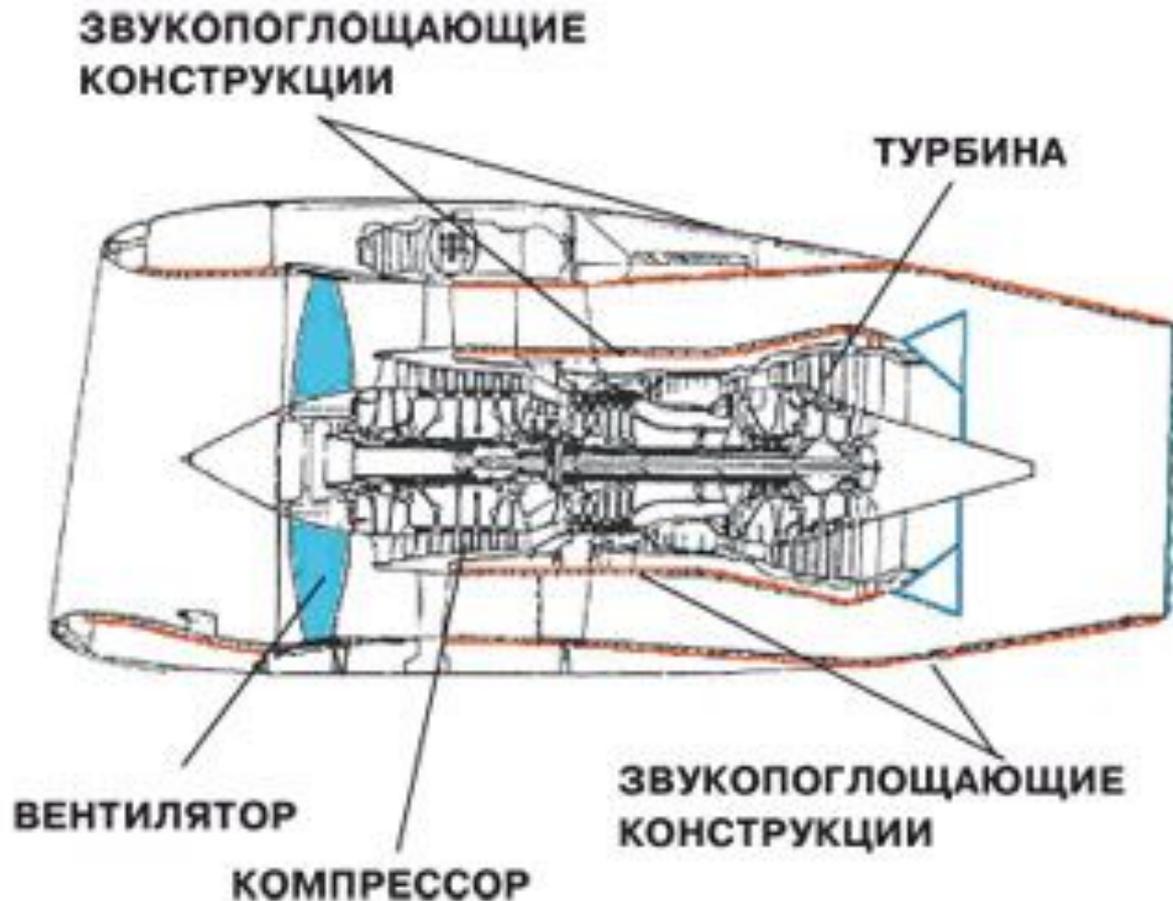
# СНИЖЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯТОРА

- Отказ от входного направляющего аппарата (ВНА) (консольное расположение рабочего колеса вентилятора)
- Увеличение расстояния между рабочим колесом вентилятора и спрямляющим аппаратом



# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗПК

ЗПК облицовывается проточная часть двигателя на входе в компрессор. ЗПК – ячеистая структура из двух оболочек, между которыми находится сотовый наполнитель. На оболочке со стороны, обращенной к источнику шума, выполняются отверстия диаметром 1...2мм. Толщина ЗПК составляет 5...20мм. Обычно ЗПК делают из стали или титана.

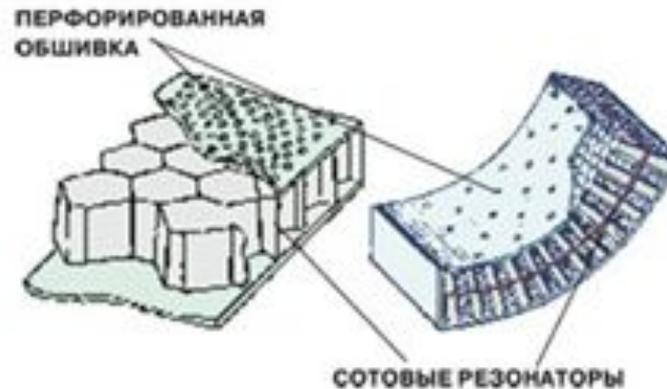
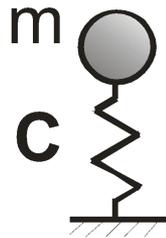
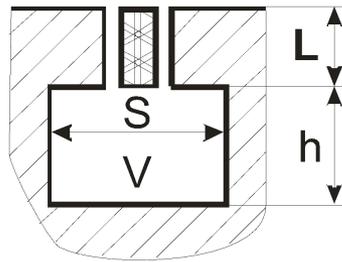


# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЗПК

Основан на резонаторе Гельмгольца. Столб воздуха в камере резонатора действует аналогично пружине, а масса воздуха, находящаяся в отверстии, подобна массе механической системы. Если массу вывести из положения равновесия, то она начнет совершать колебания относительно своего среднего положения с частотой

По принципу работы звукопоглощающие конструкции, выполняющие функции звуковых фильтров, разделяют на два типа: резонансные и диссипативные (с рассеиванием энергии).

В резонансных ЗПК энергия падающей звуковой волны гасится за счёт возбуждения вынужденных колебаний воздуха в замкнутых объёмах резонаторов. В диссипативных ЗПК потеря акустической энергии происходит за счёт трения частиц в пористых структурах из гомогенного материала.



# КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА

