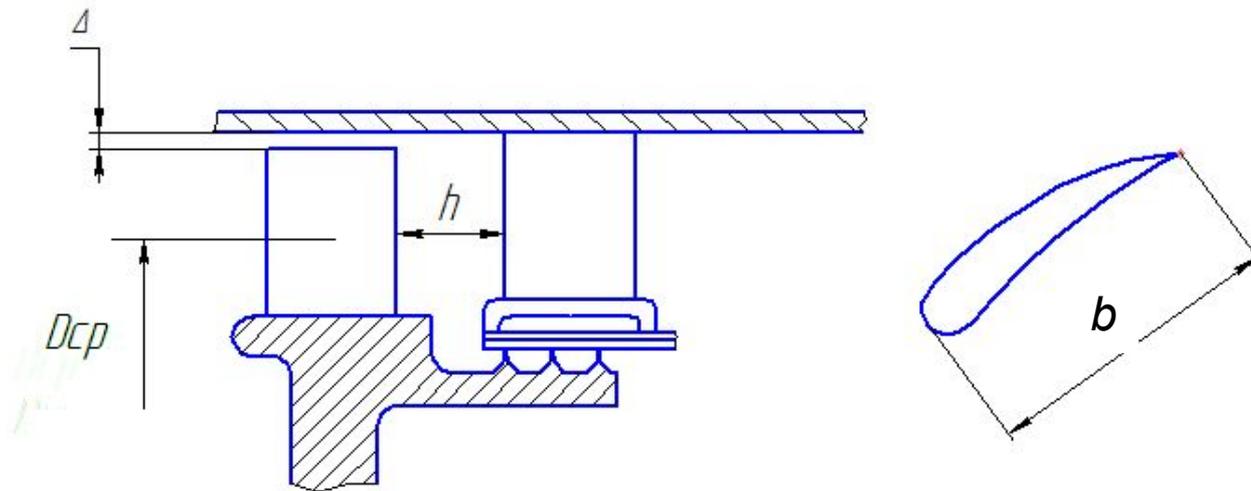


ЗАЗОРЫ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ



Осевые зазоры

Их выбирают из двух противоречивых условий:
для уменьшения длины и массы ОК желательно иметь осевой зазор минимальным, но при этом может возникнуть неустойчивая работа компрессора, вибрация и шум.

Осевые зазоры h определяют по следующей эмпирической формуле

$$h = (0,15 \dots 0,25)b$$

В поясах перепуска эти зазоры увеличивают в 2...3 раза.

У вентилятора без ВНА принимают $h = b$

РАДИАЛЬНЫЕ ЗАЗОРЫ

Они имеют большое влияние на кпд компрессора. Увеличение радиального зазора

на 1% приводит к снижению кпд компрессора на 3%, что вызывает увеличение

расхода топлива до 10%. Величина минимального радиального зазора δ_{\min} определяется из следующих соображений

$$\delta_{\min} = \delta_y + \delta_t + \delta_{np} + \delta_l$$

где δ_y – радиальное удлинение диска или лопатки от действия центробежных сил;

δ_{np} – технологический зазор (припуск), допуски на изготовление и несоосность опор;

δ_t - изменение радиального зазора из-за действия температуры;

δ_l – изменение зазора из-за разности прогибов ротора и статора.

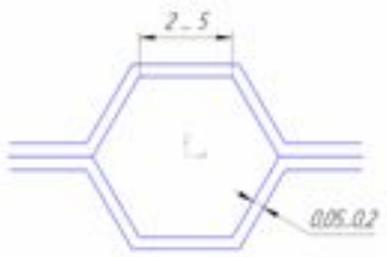
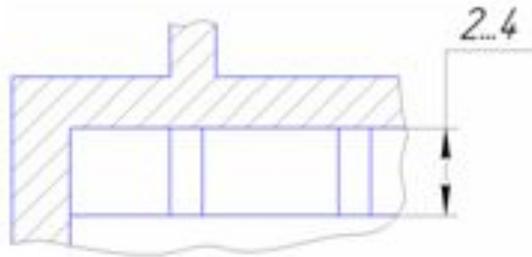
Радиальные зазоры также определяются из эмпирических соотношений:

$$\text{Для первых ступеней } \bar{\delta} = 0,2 \dots 0,7\% \text{ , для последних } \bar{\delta} = 1,5 \dots 4\%$$
$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{l} \text{ где } l \text{ – длина лопатки}$$

Определив радиальные зазоры для первой и последней ступеней, находят зазоры для промежуточных ступеней, используя линейный закон.

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА

Одним из путей является использование мягких срабатываемых покрытий толщиной 1...3мм. Они позволяют снизить зазор на 30...50%. Виды срабатываемых покрытий приведены в таблице

T,°K	Вид покрытия	Способ нанесения
500...550	Тальковое покрытие Тальк + алюминий + лак	Кисть, несколько слоев
До 700	Алюмо - графитовое	напыление
До 900	АНБ (алюминий + нитрид бора)	плазменное
До 1000	Монель – металл Никель + медь + нитрид бора	плазменное
Свьше 1000	Сотовое уплотнение 	Пайка, точечная сварка 

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИТОВЫХ ВСТАВОК



СОТОВОЕ УПЛОТНЕНИЕ СТУПЕНИ ТРДД PW 4084



НАПРАВЛЯЮЩИЙ
АППАРАТ

СОТЫ

КОЛЬЦО
ЛАБИРИНТНОГО
УПЛОТНЕНИЯ

СОТОВОЕ УПЛОТНЕНИЕ РОТОРА ТРДД PW 4084

НАПРАВЛЯЮЩИЕ АППАРАТЫ

СОТЫ



КОЛЬЦА ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

УПЛОТНЕНИЕ РАДИАЛЬНЫХ ЗАЗОРОВ

Для снижения утечек в радиальных зазорах применяются лабиринтные уплотнения.

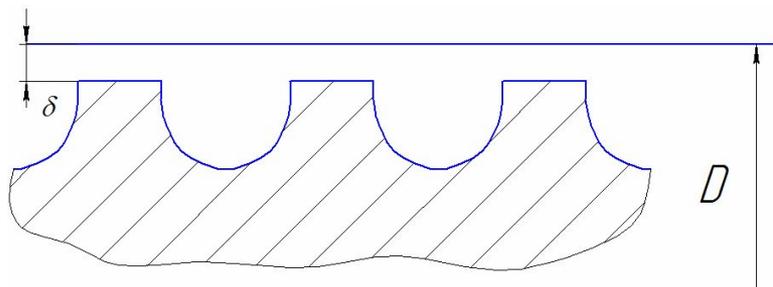
Утечки G через уплотнение определяются по формуле

$$G = kf \sqrt{\frac{p_2^2 - p_1^2}{zRT}}$$

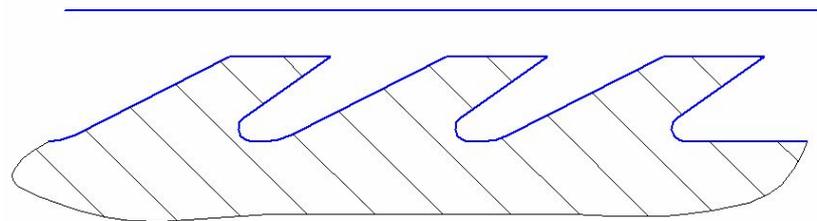
где f – кольцевая площадь; $f = \pi \delta D$, D – диаметр,
 δ – радиальный зазор; z – число гребешков;

k – коэффициент пропорциональности, определяемый конструкцией уплотнения.

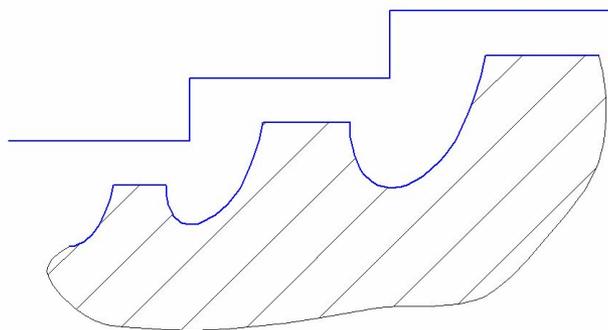
Прямой лабиринт $k=1,2$



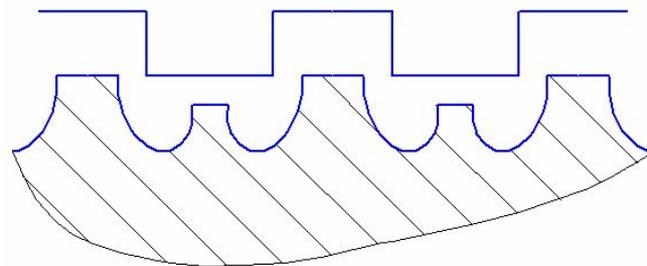
Наклонный лабиринт $k=1,0$



Ступенчатый лабиринт $k=0,85$

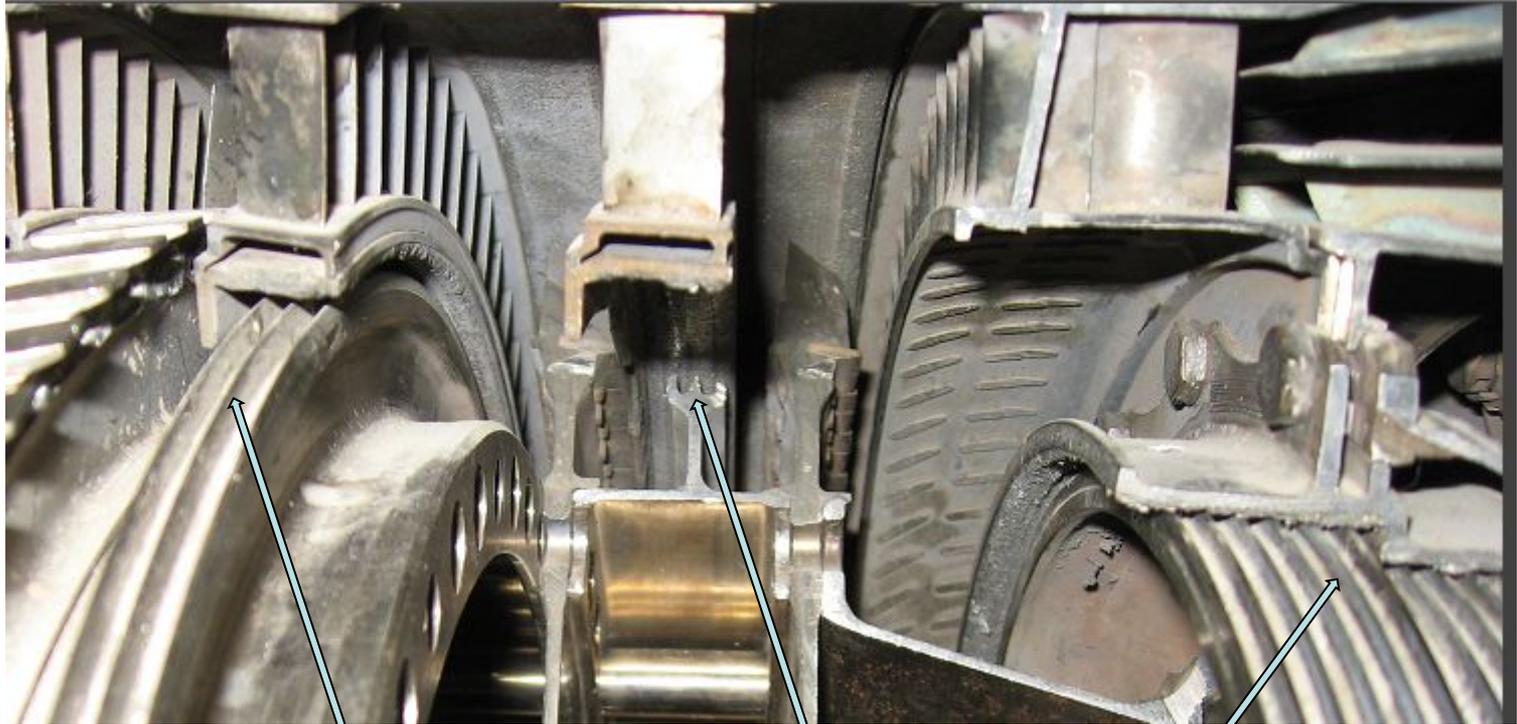


Разрезной лабиринт $k=0,7$



ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

КВД ТРДД АИ-25



ГРЕБЕШКИ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

ЛАБИРИНТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ КВД НК-8



ГРЕБЕШКИ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

ЛАБИРИНТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ТВД НК-12



ГРЕБЕШКИ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

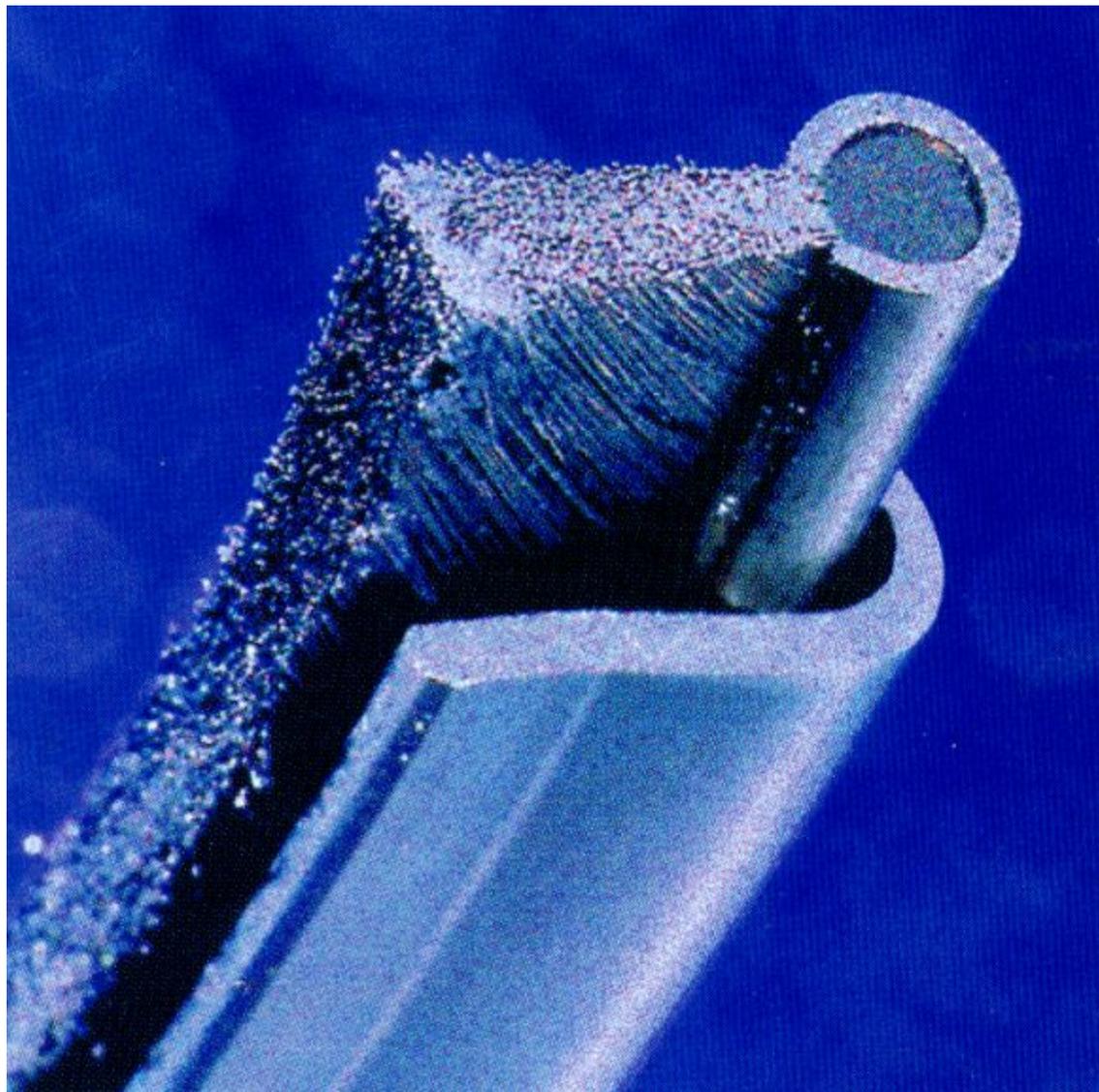
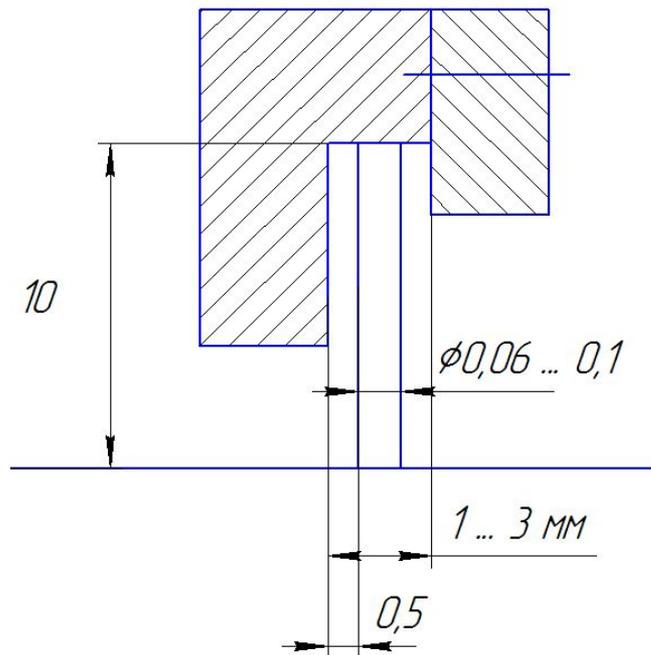
ЛАБИРИНТНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ТВД АИ-24



ГРЕБЕШКИ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ



ЩЕТОЧНОЕ УПЛОТНЕНИЕ



Помимо хороших
уплотнительных свойств
имеет также
демпфирующие
свойства

Щеточное уплотнение



Общий вид ЩУ

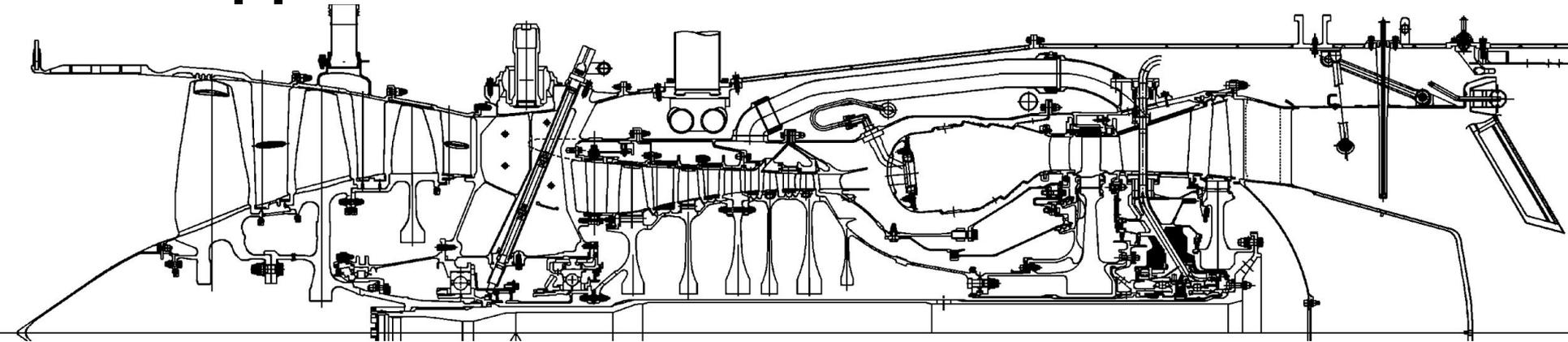


Фрагмент ЩУ

Щеточные уплотнения (ЩУ) представляют собой кольцевую щетку из металлических проволочек малого диаметра из сплавов на основе никеля, хрома, кобальта, вольфрама или неметаллических волокон.

Проволочки располагаются под углом к сопрягаемой поверхности ротора с целью уменьшения трения волокон щеточного уплотнения о роторную деталь.

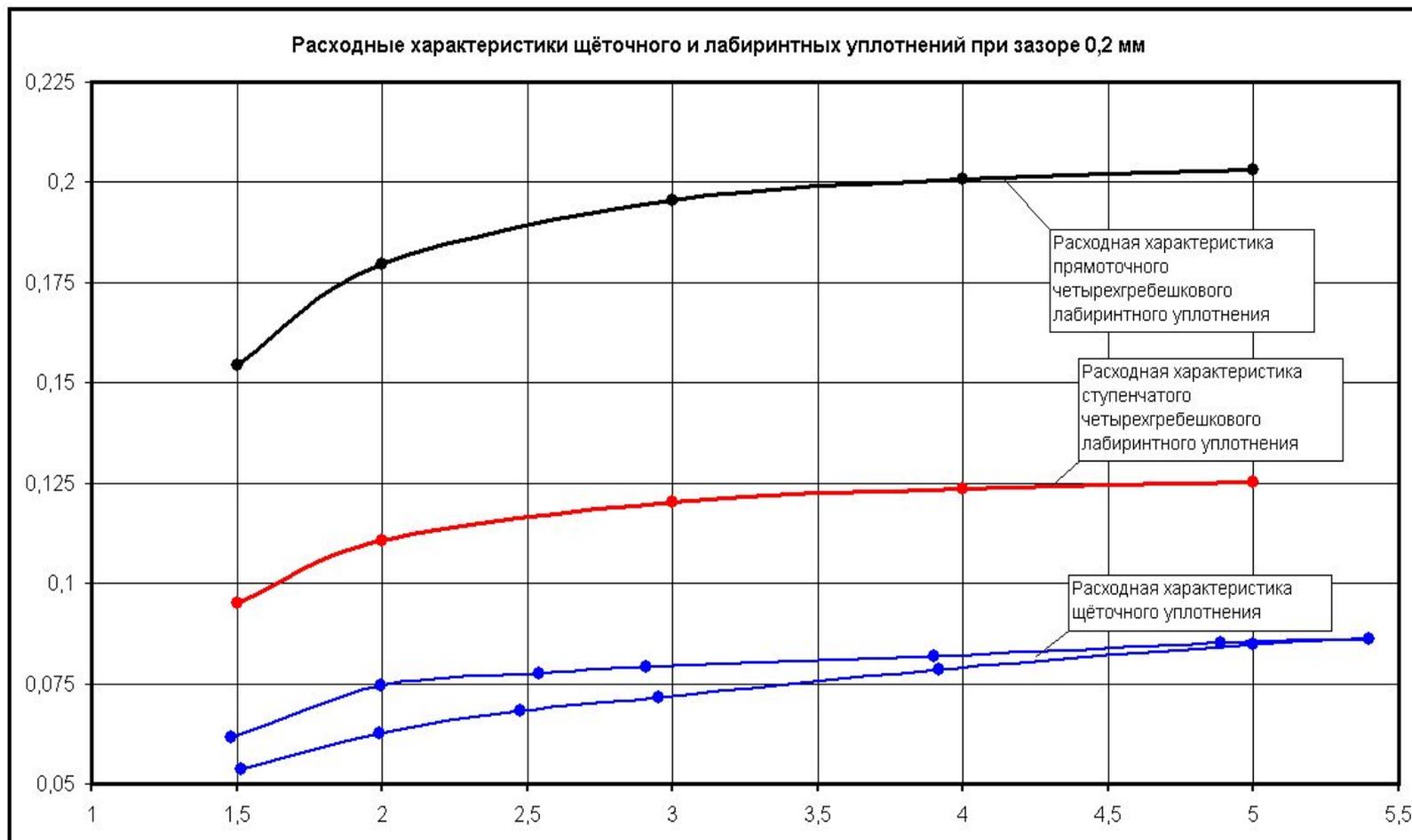
ЩУ В ТУРБИНЕ АВИАЦИОННОГО ГТД EJ200 ДЛЯ САМОЛЁТА EUROFIGHTER



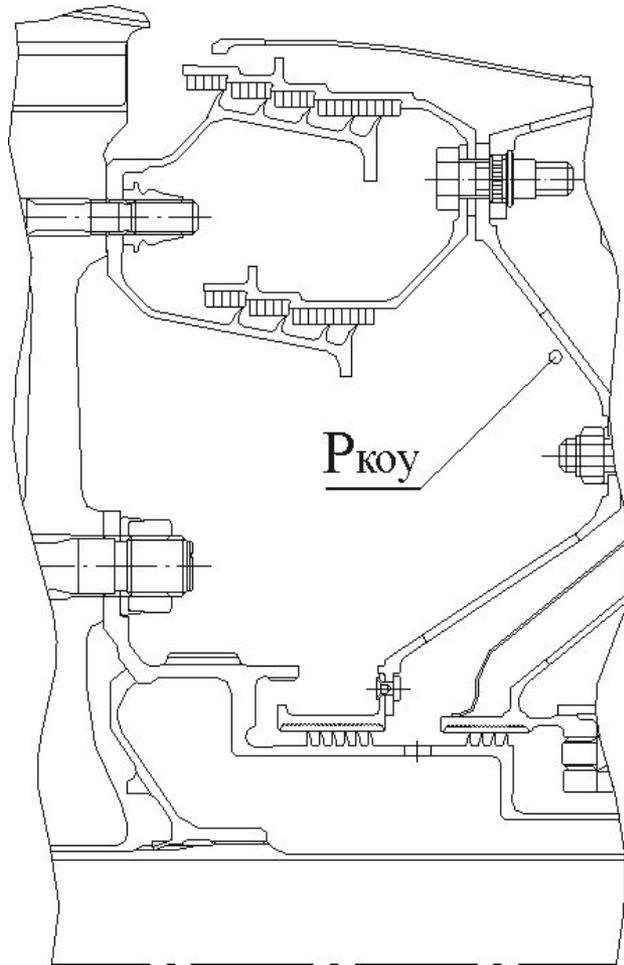
ЩУ позволяют в несколько раз снизить утечки воздуха при уменьшении веса и цены изготовления.

Поэтому ведущие мировые фирмы , занимающихся разработкой и эксплуатацией авиационных и стационарных ГТД , такие как NASA, CFM, «Роллс-Ройс», «Дженерал Электрик», Пратт-Уитни, Сименс, Мицубиси, Вестенхауз, MTU затрачивают значительные усилия на внедрение ЩУ. Для примера в 70 ГТД GE работают около 200 ЩУ, их суммарная наработка составляет 1.4 млн. часов, а на одном из двигателей GE90 достигнута наработка свыше 40000 часов.

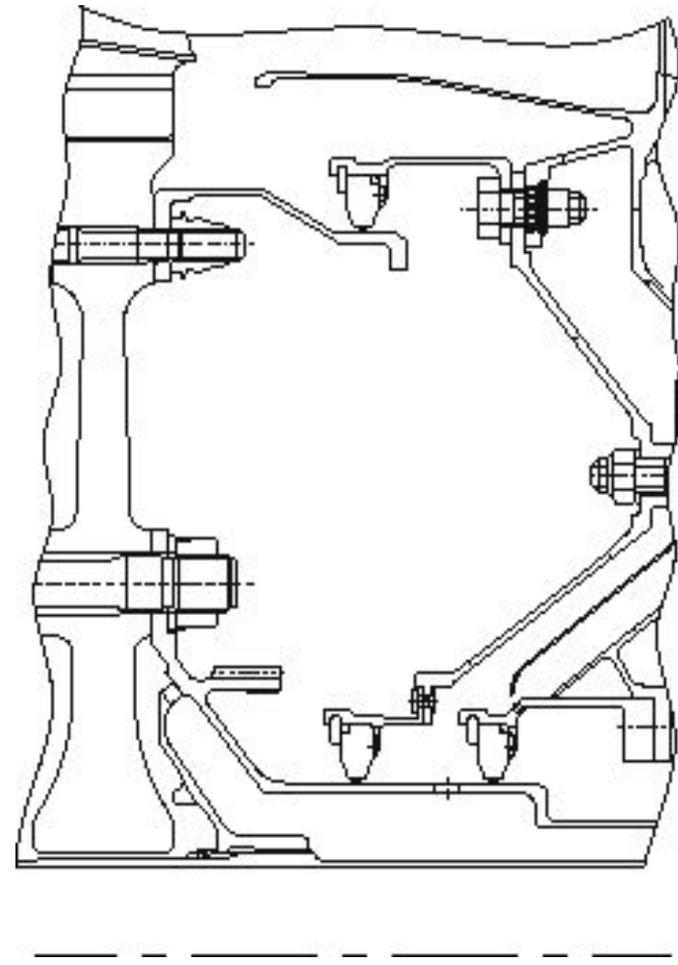
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩУ



ЩУ В ТУРБИНЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ



**Исходная конструкция
с лабиринтными уплотнениями**



Конструкция со ЩУ