

## КОНСТРУКЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВОЗДУШНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Темис Ю.М., Селиванов А.В.  
 ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва  
[avselivanov@ciam.ru](mailto:avselivanov@ciam.ru)

*Ключевые слова:* уплотнение, радиальный зазор, утечки воздуха, математическое моделирование.

Для обеспечения высокой эффективности авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) необходимо внедрение новых конструктивных решений, в том числе в области герметизации зазоров между неподвижными и вращающимися деталями. Долгое время типовыми для высокоскоростных турбомашин являлись бесконтактные лабиринтные уплотнения, создающие в зазоре повышенное гидравлическое сопротивление, препятствующее перетоку воздуха из области высокого давления. Их существенным недостатком при работе в составе авиационных ГТД является невозможность компенсировать изменение зазора по режимам полетного цикла, вызванное деформацией деталей уплотнительного узла как части конструктивно-силовой схемы двигателя. Монтажный зазор в таких условиях определяется режимом с максимальным (по циклу) закрытием зазора, а рабочий зазор на других режимах может быть избыточным. Например, в уплотнительном узле думисной полости за компрессором высокого давления (КВД) изменение зазора в течение полета может составлять от  $-0,5$  до  $+1,0$  мм. Работа с избыточным зазором ведет к значительному увеличению невозвратных утечек воздуха.

Для решения этой проблемы были предложены конструкции уплотнений, позволяющие частично или полностью компенсировать изменение зазора в уплотнительном узле за счет перекрытия зазора множеством радиально-податливых элементов (тонких проволок, лепестков, пластинок) или за счет использования упруго-подвешенных сегментных надроторных колец [1–4]. В первом случае адаптивность уплотнения обеспечивается радиальным смещением консольно-закрепленных элементов при контакте с ротором, к этому типу относятся щёточные и контактные пальчиковые уплотнения. Во втором случае предполагается автономная регулировка положения сегментов под действием давления напорного потока и индуцированных вращением ротора подъемных сил, что характерно для бесконтактных пальчиковых, пластинчатых (листовых), лепестковых, фольговых и комбинированных уплотнений. В результате возможно установить меньший (по сравнению с лабиринтным уплотнением) монтажный зазор и обеспечить меньшую утечку воздуха, рис. 1.

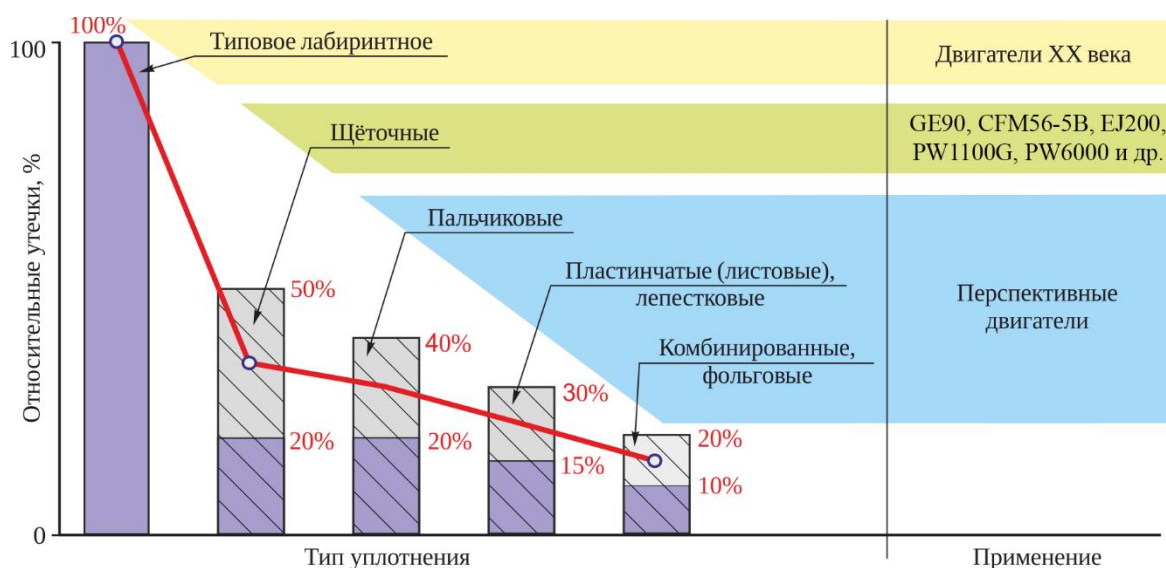


Рисунок 1 – Уровень утечки через перспективные уплотнения

В докладе освещены основные направления развития радиальных воздушных уплотнений, приведены характерные конструкции и рассмотрены вопросы построения математических моделей для их расчета. Сделан вывод о консервативном сценарии внедрения новых уплотнений в отечественные ГТД:

- уплотнения проточной части (над рабочими и спрямляющими лопатками) будут соответствовать кольцевой и лабиринтной схемам, применяемым в настоящее время;

- основные уплотнения вторичного тракта, в том числе уплотнения думисной полости за КВД и системы охлаждения турбины, будут усовершенствованы путем замены лабиринтных уплотнений на щёточные, а впоследствии – на усовершенствованные щёточные и комбинированные газодинамические уплотнения;

- сложность обеспечения требуемого аэродинамического отклика сегментов упруго-подвешенного кольца в широком диапазоне условий работы авиационных ГТД накладывает ограничения на возможность использования бесконтактных плавающих уплотнений в ближайшей перспективе.

### **Список литературы**

1. Sealing in turbomachinery / R.E. Chupp, R.C. Hendricks, S.B. Lattime, B.M. Steinetz / NASA. Cleveland: Glenn Research Center, August 2006. 56, [4] p. NASA/TM–2006-21434.

2. Каджардузов П.А. Уплотнения газотурбинных двигателей. М.: ЦИАМ, 2018. 171 с. (Труды ЦИАМ; № 1357).

3. Темис Ю.М., Селиванов А.В., Дзева И.Ю. Комплексный анализ перспективных уплотнительных систем // Новые технологические процессы и надежность ГТД. Вып. 9: Подшипники и уплотнения: научно-технический сборник статей под ред. Ю.А. Ножницкого и Н.И. Петрова. М.: ЦИАМ, 2013. С. 179–203.

4. Темис Ю.М., Селиванов А.В. Перспективные уплотнения для газотурбинных двигателей // Авиационные двигатели. 2021. № 2 (11). С. 43–60.

### **Сведения об авторах**

Темис Юрий Моисеевич, д.т.н., профессор, начальник отдела. Область научных интересов: междисциплинарное математическое моделирование и оптимизация; численные методы; нелинейные проблемы пластичности; динамика и прочность конструкций.

Селиванов Алексей Валерьевич, заместитель начальника отдела по науке. Область научных интересов: междисциплинарное математическое моделирование; аэроупругость.

## **ADVANCED AIR SEALS**

Temis Y.M., Selivanov A.V.  
CIAM, Moscow, Russia, [avselivanov@ciam.ru](mailto:avselivanov@ciam.ru)

*Keywords: seal, radial clearance, air leakage, mathematical simulation.*

The paper generalizes information about designs of advanced radial air seals for gas-turbine engines. A feature of the new seals is clearance closing by flexible parts that can slide on rotor surface or floating on gas film over one. Main benefits, disadvantages and technology readiness level for different seals are defined. Mathematical simulation approaches to advanced floating seal calculation are discussed.