



**УМПО**  
**ОДК**



Публичное акционерное общество «Уфимское моторостроительное производственное объединение» (ПАО «УМПО») ул. Ферина, 2, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450039  
Телетайп/телекс: 162340, «RICA RU», тел.: +7 (347) 238-33-66, 238-18-63, факс: +7 (347) 238-37-44, http:// www.umpro.ru, e-mail: umpro@umpro.ru  
ОГРН 1020202388359, ИНН 0273008320, КПП 027301001

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_



Утверждаю

генеральный конструктор, д.т.н., профессор

Е.Ю. Марчуков

«21» января 2016

### Отзыв ведущей организации

на диссертацию *Пугачёва Александра Олеговича*  
«Щёточные уплотнения в роторных системах авиационных двигателей»,  
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук  
по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергетические  
установки летательных аппаратов»

При проектировании современных газотурбинных двигателей предъявляются повышенные требования по удельным параметрам, ресурсу и стоимости жизненного цикла. Одним из способов совершенствования двигателей является оптимизация утечек через уплотнения. Направлениями работы для достижения этих целей являются как дальнейшее развитие хорошо зарекомендовавших себя типов уплотнений, так и разработка новых уплотнительных элементов. Преимущества и необходимость применения уплотнительных устройств с податливыми элементами в конструкции разрабатываемых и модернизируемых двигателей очевидна. В связи с этим **актуальность темы диссертационной работы Пугачева А.О. не вызывает сомнений.**

Подходы, преобладающие в практике проектирования уплотнений, основываются на полуэмпирических методах, точность которых существенно зависит от объема доступной экспериментальной информации и принимаемых допущений. Предложенный автором метод пригоден для совершенствования эксплуатируемых и перспективных ГТД. Внедрение ЩУ проводится ОКБ им. А. Люльки и другими КБ при разработке двигателей АЛ-31СТ, ПД-14 и других. Таким образом, результаты диссертационной работы автора и разработанную им инженерную методику расчета параметров ЩУ, целесообразно использовать на различных стадиях научно-исследовательских и опытно-конструкторских

работ по созданию перспективных двигателей, что свидетельствует об **актуальности и своевременности диссертационной работы Пугачева А.О.**

**Научная новизна** работы заключается в том, что автором впервые получены закономерности для определения расхода и динамических коэффициентов жёсткости и демпфирования узлов с ЩУ, позволяющие получать адекватные результаты, которые подтверждены обширными экспериментальными исследованиями. Разработан комплекс математических моделей различной степени сложности для расчёта узлов с щёточными уплотнениями и использованием методов вычислительной гидрогазодинамики.

**Достоверность результатов работы** подтверждается использованием фундаментальных законов газовой динамики, применением верифицированного программного комплекса и удовлетворительным согласованием расчетных и экспериментальных результатов.

**Практическая ценность** работы заключается в разработке инженерной методики моделирования гидравлических и динамических характеристик ЩУ с использованием современных методов расчета и ее адаптации к реальным условиям проектирования в конструкторских бюро. Материалы диссертационной работы могут быть использованы при разработке конструкций перспективных уплотнительных устройств. Разработанная автором методика моделирования может быть использована в научных и прикладных исследованиях, ведущихся в учебных, научно-исследовательских организациях и на промышленных предприятиях, в частности МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МЭИ, СГАУ, АО «НИИД», ОАО «ВТИ», НПО «Сатурн», НППГТ «Салют», ОАО «Турбина», КБ Климова, МПП им. Чернышева, ИВТ РАН, ГосНИИ АС, ОКБ им. А. Люльки, ОАО «УМПО», ОАО «Авиадвигатель».

Несмотря на достаточно подробное и полное изложение проблем, возникающих при проектировании ЩУ, и методов их решения необходимо высказать и ряд замечаний по данной работе.

- 1) Расчётная ВГД модель на основе модели пористой среды позволяет определить лишь аэродинамические составляющие коэффициентов жесткости и демпфирования. Поэтому результаты ВГД-модели не могут быть непосредственно использованы при анализе ЩУ, устанавливаемых с нулевым номинальным зазором или внахлест.

- 2) Для верификации численной методики расчета ЩУ использованы экспериментальные данные, по которым не приведена информация о погрешности эксперимента.
- 3) Описанный подход не учитывает дискретную природу отдельных волокон, а коэффициенты сопротивления среды обладают полуэмпирическими свойствами, не учитывается осевая деформация волокон, которая в общем случае приводит к увеличению расхода через уплотнение. Замена дискретной структуры ЩУ на модель пористой среды безусловно оправдана, так как моделирование волокон требует серьезных вычислительных ресурсов, однако, в этом случае появляется необходимость корректировки и уточнения модели, в том числе подбора радиального зазора и изменения коэффициентов сопротивления.
- 4) На графике зависимости эффективного радиального зазора от перепада на базовых ЩУ (рис.7.11), полученном экспериментальным путём, наблюдаются колебания расхода газа для некоторых из типов ЩУ. Изменение расхода при одинаковом перепаде на ЩУ в процессе эксперимента, вероятно, вызвано «эффектом гистерезиса», возникающим при увеличении и уменьшении перепада давления на уплотнении. Для некоторых типов ЩУ изменение эффективного зазора уплотнения достигает 25%
- 5) В предложенной инженерной методике оценка проводится лишь исходя из перепада давления через уплотнение. Влияние скорости вращения и эксцентричного положения вала, а также влияние закрутки потока газа на величину расхода в данном случае не рассматривается. Таким образом, методика оценивает лишь наиболее общий случай работы уплотнения.

Указанные выше замечания не оказывают существенного влияния на положительную оценку диссертационной работы.

**Основные положения и результаты работ** представлены более чем в 60 публикациях, включая 1 монографию, 17 научных статей в изданиях рекомендованных ВАК РФ.

Результаты исследований Пугачева А.О. известны научной общественности по его публикациям и выступлениям на представительных научных форумах. Они апробированы на 23 международных и 4 российских конференциях.

В заключение необходимо отметить, что диссертационная работа представляет собой законченный по форме и содержанию научный труд и направлена на решение актуальной задачи – разработку метода определения характеристик щеточных уплотнений, даны рекомендации по проектированию, выявлены закономерности работы. Диссертация выполнена на достойном уровне и соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, а ее автор, Пугачев Александр Олегович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертация заслушана и обсуждена на заседании НТС ОКБ им. А Люльки филиал ОАО «УМПО» 2 декабря 2015г. протокол №517/2015-НТС.

Главный конструктор,

начальник расчетно-исследовательского отдела, к.т.н.



Мухин А.Н.

Инженер-конструктор 1 категории, к.т.н.



Брыкин Б.В.