

О Т З Ы В

официального оппонента д.т.н., профессора

Фалалеева Сергея Викторовича

о диссертационной работе **Пугачёва Александра Олеговича**

«Щёточные уплотнения в роторных системах авиационных двигателей»,

представленной на соискание ученой степени

доктора технических наук по специальности 05.07.05 — Тепловые, электро-
ракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Актуальность темы диссертации.

Повышение энергоэффективности разрабатываемых авиационных газотурбинных двигателей, возрастающие требования к снижению их материалоемкости и повышению надежности вынуждают внедрять более прогрессивные уплотнительные узлы как для герметизации проточной части, так и масляных полостей опор. Вопросы повышения герметичности и ресурса уплотнений являются одними из наиболее актуальных при проектировании новых и модернизации находящихся в эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей. Высокие параметры рабочего процесса, требуемые показатели надежности и массогабаритные характеристики двигателей могут быть обеспечены за счет применения высокоэффективных уплотнительных систем на базе щеточных уплотнений. Потенциал, заложенный в щеточных уплотнениях, раскрыт ещё не полностью, и постоянные усилия, направленные на повышение их эффективности, лучшее тому подтверждение. Более того, успехи в этой области найдут своё применение также в стационарных компрессорах и газотурбинных приводах различного назначения. Необходимо отметить, что за рубежом ряд фирм с успехом используют такие уплотнения в турбомашинах различного назначения, в том числе и в авиационных ГТД, однако не публикуют свои расчетные методики и особенности технологии. Накопленный к настоящему времени в России теоретический и экспериментальный материал позволяет создавать щеточные уплотнения, однако их ресурс пока уступает зарубежным аналогам. Существующие в российских предприятиях и научных центрах методики проектирования не учитывают в полной мере всех физических процессов, происходящих в рассматриваемых уплотнениях, а известные в настоящее время методы расчета имеют ограниченный характер по практическому применению при разработке уплотнений для двигателей с перспективными параметрами. Также серьезным препятствием являются технологические проблемы.

В связи с этим представляется весьма актуальной работа Пугачёва А.О., в которой решаются вопросы повышения эффективности и надежности

роторных систем с щеточными уплотнениями за счет разработки комплекса моделей и расчетных методик, а также проведения теоретического и экспериментального исследования, и на их основе - разработки рекомендаций по внедрению щеточных уплотнений в авиационные газотурбинные двигатели.

Научная новизна. Автор диссертации достаточно убедительно определил задачи работы: анализ современных направлений развития уплотнительной техники, теоретических моделей и методов исследования; анализ накопленного опыта использования щеточных уплотнений в авиационных двигателях; разработка математических моделей для расчёта расходных и динамических характеристик узлов с щеточными уплотнениями на основе методов вычислительной гидродинамики; разработка теоретических инструментов для анализа щеточных уплотнений и динамической системы «ротор-уплотнения»; изучение закономерностей работы узлов с щеточными уплотнениями с использованием теоретических и экспериментальных методов; проверка адекватности разработанных моделей и достоверности полученных результатов; разработка упрощённых инженерных методик для расчёта щеточных уплотнений; разработка рекомендаций по проектированию и эксплуатации щеточных уплотнений, в том числе применительно к авиационным двигателям.

Глубоко продуманный и научно аргументированный выбор цели и задач, решаемых в диссертации, предопределил методическое единство, стройность и содержательность работы в целом. Автором разработан комплекс математических моделей различной степени сложности для расчёта узлов с щеточными уплотнениями с использованием методов вычислительной гидродинамики, позволяющая комплексно рассмотреть влияние всех конструктивных и режимных факторов. Предложена модификация модели пористой среды для описания набора волокон в щеточном пакете. Также следует среди новых научных результатов отметить сформированные теоретические основы расчёта динамических характеристик уплотнений, выявленные закономерности для расходных характеристик и динамических коэффициентов узлов с щеточными уплотнениями, а также закономерности по влиянию уплотнительных узлов на динамику ротора. Также автор разработал рекомендации по проектированию узлов с щеточными уплотнениями и их применению в авиационных двигателях. Научной новизной обладает разработанный инженерный подход для оценки расходных характеристик щеточных уплотнений. Особенно следует отметить полученные в диссертации уникальные экспериментальные данные по уменьшению зазора в щеточном уплотнении и сжатую щеточного пакета в зависимости от перепада давления, а также результаты влияния различных параметров на расход и динамические коэффициенты жёсткости и демпфирования.

Научная значимость работы А.О.Пугачёва состоит в том, что разработанные теоретические инструменты позволяют рассчитывать происходящие процессы как в самом щеточном уплотнении, так и в комбинированных узлах "лабиринт-щеточное уплотнение", а также в роторной системе.

Нужно отметить и хороший научный уровень работы, достаточную обоснованность сформулированных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций, достаточную глубину и завершённость теоретического исследования основного круга затронутых в диссертации задач, содержательную в целом интерпретацию полученных результатов.

Теоретическая значимость диссертации заключается в теоретических положениях, развивающих фундаментальные подходы к исследованию и проектированию щеточных уплотнений.

Полученные в диссертации результаты являются крупным научным достижением в области проектирования и внедрения уплотнительных узлов с щеточными уплотнениями, открывающим широкие возможности по повышению их работоспособности и долговечности. Пугачевым А.О. создан научно-технический задел, который позволяет создавать высокоэффективные уплотнительные узлы для разрабатываемых авиационных ГТД с перспективными параметрами. Это определяет также практическую значимость проведенных в диссертационной работе исследований.

Достоверность полученных результатов подтверждается обоснованностью принятых допущений, корректностью поставленных задач и предложенного математического аппарата, применением апробированных методов моделирования, соответствием экспериментальных данных и полученных в диссертации теоретических результатов.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы обсуждены на ряде научно-технических конференций и опубликованы в рецензируемых журналах. Эффективность разработанных диссертантом моделей и методик продемонстрирована при использовании результатов диссертации на ряде предприятий.

Замечания по работе.

Наряду с указанными достоинствами можно высказать следующие замечания по работе:

- излишне подробно изложен материал в 1 и 2 главе, также большое внимание в диссертации уделено лабиринтным уплотнениям, при этом обзор опубликованных работ выполнен не критическим; ряд приложений также можно было бы не приводить;

- изложение материала иногда представлено в виде руководства по проведению научного исследования, и не всегда приведено принципиальное влияние различных параметров на работоспособность и характеристики щеточных уплотнений;

- рассмотрена система "ротор-уплотнения", однако, на мой взгляд, необходимо рассматривать систему "ротор-опоры-уплотнения" с учетом жесткости статорной части опор;

- в главе 4 представлены теоретические инструменты для анализа динамического поведения роторных систем с учётом уплотнений, однако не продемонстрировано влияние параметров щеточного уплотнения на динамику ротора;

- в диссертации указано, что динамическая модель газового слоя в уплотнении строится по аналогии с подшипниками скольжения. Это, судя по всему, относится к рассматриваемым в диссертации уплотнениям - лабиринтным и щеточным с зазором. Однако при работе в воздушной среде зазоры у этих устройств сильно отличаются и такая аналогия не корректна. При этом, щеточные уплотнения, устанавливаемые на вал с натягом, необходимо рассматривать как элементы с конструкционным демпфированием;

- к сожалению, в диссертации не проведен тепловой анализ щеточного уплотнения, от температуры в зоне контакта зависит изнашивание проволочек и поверхности вала, т.е. ресурс;

- в приведенной модели деформации волокон щеточного уплотнения в разделе 6.7 рассмотрено только 4 волокна, что не позволяет полностью смоделировать процесс деформирования в реальном уплотнении;

- в диссертации используются не общепринятые технические термины.

Однако высказанные замечания не снижают общего высокого научного уровня работы.

Заключение.

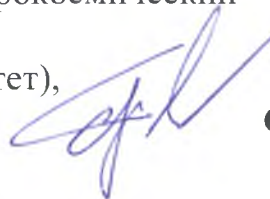
Представленная на защиту диссертационная работа Пугачева А.О. имеет бесспорную актуальность, научную новизну и практическую ценность. Высказанные замечания не затрагивают ее принципиальных положений и выводов.

Диссертация хорошо оформлена, снабжена достаточным количеством рационально подобранных иллюстраций.

Автореферат отражает основное содержание, совокупность научных положений и практическую направленность диссертации, а также личный вклад соискателя.

В целом диссертационная работа **Пугачёва Александра Олеговича** представляет законченное научное исследование, в ней на основании выполненных автором исследований представлены теоретические положения, устанавливающие связь между режимными параметрами работы двигателя, параметрами щеточного уплотнения и характеристиками уплотнительного узла. Совокупность теоретических положений можно квалифицировать как решение крупной научной проблемы проектирования высокоэффективных узлов с щеточными уплотнениями для авиационных газотурбинных двигателей. Решение вышеуказанной проблемы имеет важное хозяйственное значение. Она удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям, выполненным по специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», соответствует критериям, установленным постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. "О порядке присуждения ученых степеней", а ее автор достоин присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой конструкции и
проектирования двигателей летательных аппаратов
ФГАОУ ВО "Самарский государственный аэрокосмический
университет им. академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет),
д.т.н., профессор



С.В. Фалалеев

443086 г.Самара, Московское шоссе, 34
Самарский государственный аэрокосмический университет
Тел. (846)2674675 E-mail: kipdla@ssau.ru

