

## ОТЗЫВ

Научного руководителя, кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника НИИ ПМЭ МАИ Абгаряна Вартана Карленовича на диссертационную работу Круглова Кирилла Игоревича «Моделирование теплофизических процессов в высокочастотном ионном двигателе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Круглов К.И. окончил факультет «Двигатели летательных аппаратов» МАИ в 2013 году по специальности «Авиационная и ракетно-космическая теплотехника». С пятого курса обучения в институте стал заниматься научной работой в НИИ ПМЭ в области моделирования тепловых процессов, протекающих в высокочастотных ионных двигателях. С августа 2013 года он поступил в очную аспирантуру МАИ и стал активно выполнять программу обучения, работать над выпускной квалификационной работой, выступать на различных конференциях и готовить публикации в научных изданиях. По результатам проведенных исследований соискателем подготовлена диссертация к защите.

Диссертация Круглов К.И. посвящена экспериментальному и расчетно-теоретическому исследованию тепловых процессов в электроракетных двигателях и решению одной из важных задач - разработке эффективной расчетной тепловой модели высокочастотных ионных двигателей (ВЧИД). Схема ВЧИД была создана в Германии профессором Х. Лёбом и имеет ряд несомненных преимуществ по сравнению с более распространенной в мире схемой ионного двигателя Кауфмана на постоянном токе. Работы по разработке и производству ВЧИД ведутся в настоящее время в Германии и с 2010 года в России.

Одним из проблемных научно-технических вопросов создания ВЧИД является разработка тепловой схемы двигателя в соответствии с требованиями сертификации, надежного функционирования и интегрирования ВЧИД с системами КА. Поэтому востребованной задачей является разработка расчетной тепловой модели ВЧИД. Такая модель позволяет еще на этапе проектирования двигателей оценить тепловое состояние конструкции двигателя, рассчитать тепловые потоки, идущие от двигателя на сопряженные системы КА, произвести выбор материалов для использования в критических узлах конструкции ВЧИД. Количество расчетных тепловых моделей для ионных двигателей и особенно для ВЧИД чрезвычайно мало, и вопрос о тепловом моделировании ионных двигателей нельзя считать окончательно разрешенным. Этим

обстоятельством и необходимостью создания отечественной расчетной тепловой модели ВЧИД объясняется выбор направления исследования, выполненного соискателем.

В ходе исследований Кругловым К.И. была разработана экспериментальная методика измерения температур в ВЧИД различной размерности с помощью тепловизора и термопар. Разработана расчетная тепловая модель, с помощью которой были выполнены расчеты температур в ВЧИД различной размерности, разрабатываемых в НИИ ПМЭ. Полученные расчетные данные находятся в удовлетворительном согласии с измеренными в экспериментах температурами. Рассчитанные профили температур электродов ионно-оптической системы – наиболее критического узла в ионных двигателях - позволили сделать выбор материалов для их изготовления, а также являются необходимыми входными данными для проведения термомеханических расчетов деформации электродов при их нагреве.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что были уточнены величины тепловых потоков, выпадающих на поверхности, граничащие с плазмой разряда; построена адекватная расчетная тепловая модель, с помощью которой определены температурные распределения в разрабатываемых в НИИ ПМЭ МАИ линейки двигателей; сформулирован ряд рекомендаций, которые используются еще на стадии проектирования, в частности, двигателя ВЧИД-49 М, модель которого находится на этапе ОКР в НИИ ПМЭ МАИ совместно с АО КБХА.

Результаты научной деятельности Круглова К.И. были использованы при выполнении НИР и ОКР НИИ ПМЭ МАИ по заданиям ОКБ «Факел» и АО «КБХА», опубликованы в двух статьях в рецензируемых научных журналах, и представлены в докладах на 11-ти конференциях. Круглова К.И. можно считать зрелым ученым, способным самостоятельно ставить и решать сложные научно-технические задачи.

Диссертация выполнена на должном научном уровне, изложена корректно и вместе с тем доступным для инженерно-технических работников языком.

Заключение. Диссертация Круглова К.И. «Моделирование теплофизических процессов в высокочастотном ионном двигателе» является самостоятельно выполненным, законченным научным трудом, вносит существенный вклад в теорию и практику электроракетных двигателей, полностью соответствует требованиям положения ВАК РФ предъявляемым к кандидатской диссертации, а ее автор достоин



искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Научный руководитель

В.К. Абгарян

06.10.2017

«Подпись Абгаряна В. К. заверяю»

Директор НИИ ПМЭ



Г.А. Попов