



Государственный научный центр Российской Федерации –  
федеральное государственное унитарное предприятие

**"Исследовательский центр  
имени М.В.Келдыша"**

(ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша")

ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438  
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228  
ОКПО 07547339 ОГРН 1027700482303 ИНН/КПП 7711000836/774301001  
kerc@elnet.msk.ru; http://www.kerc.msk.ru

06.12.2017 № 71-06/338

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д 212.125.08  
на базе Московского авиационного  
института (национального  
исследовательского университета)  
доктору технических наук, профессору  
Ю.В.Зуеву

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва,  
ГСП-3, 125993

Уважаемый Юрий Владимирович!

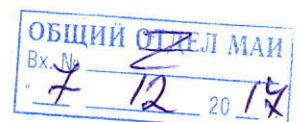
В соответствии с вашим запросом от 16.10.2017 г. исх. № 08-217-27 направляю отзыв на автореферат диссертационной работы Круглова Кирилла Игоревича «Моделирование теплофизических процессов в высокочастотном ионном двигателе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Приложение: Отзыв на — 2 л. в 2-х экз.

Ученый секретарь  
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша

Ю.Л.Смирнов

Исполнитель: И.Д.Сучкова  
конт.тел: 8 (495) 456-63-47



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

Круглова Кирилла Игоревича

«Моделирование теплофизических процессов в высокочастотном ионном двигателе»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки  
летательных аппаратов»

Представленная диссертация К.И. Круглова посвящена исследованию тепловых процессов в высокочастотных ионных двигателях.

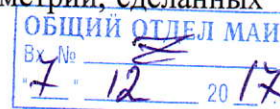
Актуальность диссертационной работы определяется необходимостью расчёта температур элементов конструкции при разработке ВЧИД и ЭРДУ на их основе. Это, в свою очередь, означает потребность в методике моделирования теплофизических процессов в ВЧИД.

Основными задачами, решаемыми в работе, являются анализ тепловых процессов в ВЧИД, разработка модели, позволяющей их описывать, проведение расчетных исследований ВЧИД различной размерности и конструкции, разработка методики экспериментального определения полей температуры в конструкциях ВЧИД и проведение экспериментальных исследований с целью определения распределений температуры.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые построена специализированная математическая модель для расчёта тепловыделения в ВЧИД, в которой в качестве независимого параметра для составления энергобаланса используются ток пучка и электрическая мощность индуктора ГРК, значения которых обычно могут быть легко найдены уже на начальном этапе разработки двигателя. Также впервые в модели тепловых потерь ВЧИД введена оценка пространственного распределения мощности, высвобождающейся вследствие рекомбинации ионов на стенках ГРК. Кроме того, разработана новая методика дистанционного измерения температур открытых поверхностей работающего ИД, а также, методики и оборудование для определения степени черноты и индикатрисы теплового излучения поверхности ГРК.

Достоверность представленных результатов подтверждается сравнением расчётных данных с данными, полученными автором, и результатами других авторов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что разработана тепловая модель, определяющая связь тепловых потоков на поверхности ГРК, эмиссионного и ускоряющего электродов ионно-оптической системы с интегральными характеристиками ВЧИД. В качестве важного практического результата, полученного автором, хотелось бы отметить проверку адекватности упрощений геометрии, сделанных



при тепловом моделировании электродов ИОС. В качестве важного достижения нельзя не упомянуть создание методики дистанционного измерения температур открытых поверхностей работающего ИД.

Исходя из информации, представленной в автореферате, можно сформулировать следующие замечания к диссертации:

1. В автореферате говорится о значительном влиянии нагрева элементов конструкции ВЧИД на технические характеристики двигателей, однако не сказано, какие именно технические характеристики ИД имеются в виду и каков характер подобного влияния.
2. В автореферате не сказано, каким образом определяется мощность  $WR$  - индукционные потери на вихревые токи в элементах двигателя.
3. К недостаткам использованной экспериментальной методики следует отнести отсутствие анализа погрешностей измерения и отказ от подтверждения результатов измерения температур работающего двигателя, полученных оптическим методом, посредством данных, получаемых более традиционными методами, с помощью контактных датчиков.

Указанные недостатки не снижают ценности проведённого исследования. Судя по автореферату, диссертация К.И. Круглова представляет собой законченную работу, выполненную на высоком уровне, и удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присвоения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Начальник отдела электрофизики,  
кандидат физико-математических наук



А.С. Ловцов

Ловцов Александр Сергеевич  
кандидат физико-математических наук, начальник отдела электрофизики,  
Государственный научный центр Российской Федерации – федеральное государственное  
унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (ГНЦ ФГУП  
«Центр Келдыша»), 125438, г. Москва, ул. Онежская, д. 8; телефон: +7 (495) 456-64-65; e-  
mail: lovtsov@kerc.msk.ru.

Подпись А.С. Ловцова удостоверяю  
Ученый секретарь ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»,  
кандидат военных наук



Ю.Л. Смирнов  
07.12.2017г. *Тидиш*