

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Филиппова Глеба Сергеевича на тему: «Математическое моделирование пространственного распределения лучистой энергии от сложного излучателя» по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

При проектировании современной авиационной техники уделяется серьёзное внимание оценке реализуемых тепловых режимов, определяющих как основные ее летно-технические характеристики, так и специальные, к которым относится оптическая заметность.

Главными источниками ИК-излучения ЛА в задней полусфере являются элементы двигательной установки, разогреваемые выхлопными газами, струя выхлопных газов, мотогондола, поверхности ЛА испытывающие аэротермический нагрев при движении ЛА в атмосфере, отражённое поверхностью ЛА излучение естественных источников (прежде всего, Земли и Солнца).

Поиск способов оценки и снижения излучения ЛА в ИК-диапазоне становится важной задачей, подходы к решению которой разрабатываются уже давно. Существующими способами снижения ИК-заметности ЛА являются: модификация геометрии выхлопного устройства двигательной установки (ДУ) как с целью снижения площади находящихся в прямой видимости ее горячих элементов, так и для интенсификации смещения выхлопных газов с атмосферой в целях снижения ИК-излучения выхлопной струи; использование различных способов охлаждения внешних поверхностей нагретых элементов ДУ; применение специальных материалов, обладающих определенными оптическими и теплофизическими свойствами и т.д.

Для решения задачи снижения заметности ЛА в ИК-диапазоне необходимо проведение исследований по разработке моделей и алгоритмов расчёта всех компонентов определяющих суммарное излучение ЛА, включая излучение выхлопного устройства. В настоящее время в данной предметной области многие методы систематизированы и описаны. К ним относятся: методы переноса селективного излучения выхлопных струй в условиях локального термодинамического равновесия; метод «обратного хода луча» и метод прямого статистического моделирования для решения задачи о лучистой теплопередаче в полости, заполненной «серым» газом и др. Однако, несмотря на большое количество публикаций в области радиационно-конвективного теплообмена, методы расчёта оптических характеристик таких сложных излучателей как выхлопные устройства (ВУ) ДУ ЛА, состоящие из большого количества излучающих поверхностей с определенным взаимным расположением и геометрией, имеющих различные температуры и оптические свойства, являются в настоящее время не достаточно разработанными.

Анализ разработанного в данной предметной области научно-методического аппарата показывает, что ему присущи определенные недостатки. Основным недостатком существующих аналитических методов и моделей является сложность учёта различных параметров двигательной установки, связанная с разнообразием режимов полёта ЛА. Одним из направлений устранения данного недостатка является совершенствование и разработка новых методов математического моделирования пространственного распределения лучистой энергии от сложного излучателя и разработка численной модели, позволяющей прогнозировать ИК-излучение элементов конструкции ДУ ЛА с учётом оптических и теплофизических характеристик.

В связи с этим тема диссертации Филиппова Г.С. посвященная математическому моделированию пространственного распределения лучистой энергии от сложного излучателя, является актуальной.

При этом практически важной является цель диссертации, заключающаяся в повышении точности оценок пространственного распределения ИК-излучения проектируемых и существующих ДУ ЛА со сложной конструкцией выхлопного устройства.

Для достижения поставленной цели автором решается научная задача заключающаяся в разработке математической и численной моделей расчёта распределения в пространстве лучистых потоков от сложного излучателя, состоящего из диффузно отражающих поверхностей, позволяющих учесть произвольное количество излучающих поверхностей со своими температурами и излучательными способностями, а также их взаимную экранировку.

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и приложений, изложена на 136 страницах машинописного текста, содержит 76 рисунков и 6 таблиц. Список использованной литературы включает 114 наименований.

Во введении автор определяет цель и предмет исследований, осуществляет обзор открытых существующих методов и пакетов программ, применяемых для моделирования пространственного распределения тепловой теплового излучения различных устройств. В данной части работы автором обосновывается актуальность и научная новизна работы.

Первая глава имеет обзорный характер и посвящена описанию базовой модели прямого излучения лучистой энергии элементов реактивного сопла ДУ ЛА, а также получению результатов численных экспериментов моделирования прямого излучения внутренней поверхности сопла в различных режимах и конфигурациях.

Вторая глава посвящена моделированию прямого излучения лучистой энергии элементов турбины и центрального эллипсоидного тела ДУ ЛА, и анализу их влияния на индикатрису ИК-излучения ДУ ЛА для различных режимов и конфигураций сопла.

В третьей главе проведено математическое моделирование отражённого излучения сложного излучателя, состоящего как из внутренней поверхности сопла, так и турбины и центрального эллипсоидного тела, с учетом их оптических свойств.

Автором проведена оценка вклада в индикатрису ДУ ЛА переотражаемого излучающими поверхностями излучения. Проведена верификация модели и ее программной реализации на основе:

- сравнения расчетов, полученных с помощью разработанной модели и модели на основе метода направляющих косинусов,
- сравнения с экспериментальными данными по пространственному распределению лучистой энергии от ДУ ТС21.

Автором проведено моделирование индикатрисы излучения ДУ АЛ-31Ф в ИК диапазоне, а также предложено и исследовано на эффективность с помощью разработанного им программного обеспечения устройство, снижающее уровень излучения вышеуказанного ДУ для большинства ракурсов наблюдения в заднюю полусферу.

Наиболее существенными, полученными лично автором, являются следующие результаты исследований:

1. Алгоритм «Thermal Radiation» и программное обеспечение для решения методом Монте-Карло задачи о пространственном распределении энергии от сложного излучателя для случая прямого излучения без учёта отражённого излучения.

2. Результаты расчётов в рамках алгоритма «Thermal Radiation» индикатрисы отдельных излучающих поверхностей ДУ ЛА.

3. Усложнённый алгоритм и программное обеспечение о пространственном распределении лучистой энергии от сложного излучателя с учётом отражения от внутренних поверхностей ДУ ЛА.

4. Результаты расчётов в рамках усложнённого алгоритма «Thermal Radiation» индикатрисы всех излучающих поверхностей ДУ ЛА с учётом многократного переотражения от внутренних поверхностей.

Научная новизна результатов исследований состоит в:

1. Разработке математических моделей пространственного распределения лучистой энергии от типовых элементов сложного излучателя. При этом учтены реальные оптические и теплофизические свойства излучающих поверхностей, а для случая диффузно отражающих поверхностей элементов сложного излучателя также разработаны и реализованы вычислительные алгоритмы.

2. Предложенном экранном устройстве для снижения интенсивности ИК-излучения ДУ и проведении анализа его эффективности для типовой авиационной двигательной установки.

3. Разработанном программном обеспечении, позволяющем получить индикатрису излучения ДУ ЛА различной конфигурации для различных режимов работы ДУ.

4. Вычислительных алгоритмах, оптимизированных под использование на ЭВМ средней мощности.

5. Результатах вычислительных экспериментов, позволивших получить индикатрисы как отдельных элементов ДУ ЛА, так и ДУ в целом.

Научная новизна результатов исследований подтверждается 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Теоретическая значимость результатов исследований заключается в развитии методов математического моделирования пространственного распределения лучистой энергии от сложного излучателя и разработке численной модели, позволяющей прогнозировать ИК-излучение ДУ ЛА с учётом оптических характеристик излучающих поверхностей.

Практическая ценность диссертации заключается в возможности использования результатов расчета для оценки ИК-заметности ДУ ЛА и разработки рекомендаций по ее снижению, а также в возможности расчета тепловых режимов различных устройств, где требуется учет теплообмена излучением.

Разработанное программное обеспечение может быть использовано при исследовании на предпочтительную с точки зрения уровня оптической заметности форму и конфигурацию элементов турбины, центрального тела и внутренней поверхности ДУ ЛА.

Обоснованность результатов исследований базируется на использовании системного подхода при постановке научной задачи и ее декомпозиции на частные задачи исследования; на корректном выборе исходных данных определении условий, отражающих все существенные факторы, влияющие на излучательные характеристики поверхностей ДУ ЛА; на наглядной физической интерпретации принятых ограничений и допущений; на корректном использовании апробированного математического аппарата методов математической статистики.

Достоверность результатов исследований подтверждается достаточной для практики сходимостью оценок пространственного распределения излучения, полученных с использованием разработанного научно-методического аппарата, с результатами экспериментов по измерению характеристик излучения ДУ типового ЛА и модельного сложного излучателя.

Полученные в диссертации результаты реализованы:

1. Усложнённый алгоритм и программное обеспечение о пространственном распределении лучистой энергии от сложного излучателя с учётом отражения от внутренних поверхностей ДУ ЛА в ОКБ им. А. Люльки филиал ОАО УМПО при оценке характеристик ИК-излучения ДУ ЛА.

2. Методы математического моделирования пространственного распределения лучистой энергии от сложного излучателя и численная модель, позволяющая прогнозировать ИК-излучение ДУ ЛА с учётом оптических и теплофизических характеристик, в учебном процессе Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Полученные результаты исследований могут быть использованы:

в научно-исследовательских учреждениях Минобороны России (ЦНИИ ВВКО, ВВС Минобороны России и др.) при обосновании требований к излучательным характеристикам ЛА;

в организациях промышленности (ОКБ им. А.Люльки, ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского и др.) при разработке ДУ ЛА;

в учебном процессе ВВУЗов Минобороны России (ВА ВКО, ВАИУ и др.), а также в МАИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана и др.

Материалы научных исследований по теме диссертации опубликованы:

в 23 научных трудах, в том числе в 5 статьях, включенных в перечень ВАК, 4 описаниях к свидетельствам о государственной регистрации программ для ЭВМ, а также докладывались и получили одобрение на 10 Всероссийских и международных научно-технических конференциях.

Диссертация, в целом, выполнена на высоком научном уровне, имеет внутреннее единство, научную и практическую ценность, написана грамотным и понятным языком, хорошо проиллюстрирована. Диссертация оформлена в соответствии с предъявляемыми Министерством образования и науки Российской Федерации требованиями.

Автореферат в основном отражает содержание диссертации.

В тоже время по диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Научная задача, решаемая в диссертации сформулирована в неявном виде.
2. В качестве подтверждения достоверности получаемых результатов автор ссылается на большой объем проведенных им расчетов, который может являться необходимым условием, но никак не достаточным. Тем более, что в работе осуществлялось сравнение расчетных и экспериментальных данных.

3. Автор указывает, что в расчетах излучения ДУ им не учитывались «незначительные» (более сложные и мелкие детали сопла стабилизаторы, завихрители и др.). Однако стабилизаторы горения в случае, когда не предпринимаются меры по их охлаждению, имеют высокую температуру и находясь ближе всех остальных горячих элементов к срезу сопла могут дать существенный вклад в суммарное излучение ДУ, на уровне десятков процентов.

4. Автор указывает, что разработанный им алгоритм подходит к любому сложному излучателю, а также может быть доработан для добавления вклада других факторов, которые не раскрываются в явном виде.

5. В диссертации и автореферате имеются отдельные понятийные и стилистические ошибки, например, на стр. 19 диссертации автором употребляется термин «диссертационная работа», однако в соответствии с «Положением о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации необходимо употреблять термины «диссертация» или «работа» и т.д.

Однако отмеченные недостатки не снижают значимости выполненной научно-квалификационной работы и не влияют на ее общую положительную оценку.

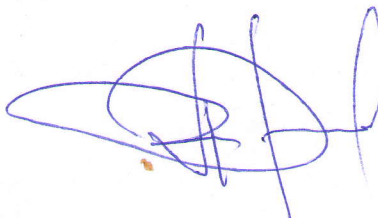
Выводы по диссертации:

1. Представленная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной научной задачи, заключающейся в разработке математической и численной моделей расчёта распределения в пространстве лучистых потоков от сложного излучателя, состоящего из диффузно отражающих поверхностей, позволяющих учесть произвольное количество излучающих поверхностей со своими температурами и излучательными способностями, а также их взаимную экранировку, является актуальной, имеющей существенное значение для обеспечения обороноспособности.

2. Диссертация соответствует специальности 01.02.05 «Механика жидко-

сти, газа и плазмы», отвечает критериям ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям (раздел 2 п.9 (абз.2 п.п.1)) «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Филиппов Глеб Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник



А.А. Храмичев

Подпись официального оппонента Храмичева Александра Анатольевича
заверяю.

Ученый секретарь диссертационного совета
ДС 251.216.01 при ФГБУ «ЦНИИ ВВКО Минобороны России»
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор



С.М. Нестеров

«25»

2014 г.

