

## ОТЗЫВ

**научного руководителя кандидата технических наук,  
доцента Быкова Л.В. на диссертационную работы Платонова И.М.  
«Тепло-массообмен при взаимодействии струй в режиме  
газодинамического управления летательным аппаратом»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая  
теплотехника»**

Квалификационная работа Платонова И.М. посвящена решению одной из проблемных научно-технических задач – взаимодействию потоков: струи ракетного двигателя, управляющей струи системы газодинамического управления авиационной управляемой ракетой и сносящего потока. Данная проблема играет важную роль при решении научных и практических задач, связанных с повышением управляемости высокоскоростных летательных аппаратов.

В процессе выполнения работы автором решены ряд задач, которые подтвердили надёжность предложенной математической модели, достоверность данных, полученных с её использованием.

В результате решения задач:

- сформулированы граничные условия полёта авиационной управляемой ракеты (АУР) в плотных слоях атмосферы;

- разработана математическая модель процессов тепломассообмена и газовой динамики, характерных для полета АУР при обтекании сверхзвуковым потоком;

- разработана методика численного решения основных уравнений, входящих в математическую модель, проанализированы особенности методики, проведено исследование сеточной независимости решаемой задачи, влияния используемой модели турбулентности на результаты расчетов;

- проведена верификация разработанной математической модели на основе сравнения результатов с экспериментальными данными и расчетными исследованиями других авторов;

- проведено тестовое сопоставление результатов численного решения предложенной математической модели, описывающей сложное взаимодействие струй в окрестностях авиационной управляемой ракеты при газодинамическом управлении направлением полета;

- проведены численные исследования параметров тепломассообмена и аэродинамических характеристик АУР для различных способов управления вектором тяги, выполнена оценка эффективности используемых методов;

- проанализированы эффекты, возникающие при взаимодействии управляющей струи со сносящим потоком, струей ракетного двигателя.

Показано, что:

- при натекании сносящего потока на управляющую струю образуется подковообразная зона повышенного давления, а за струей зона разрежения, что вполне соответствует картине обтекания цилиндрической преграды. Формируются два симметричных вихря обтекающих препятствие, образующих за ним зону, в которой теплообмен сопоставим с областью передней критической точки.

- под воздействием сносящего потока в пространстве между управляющей струей и струей двигательной установки формируется область пониженного давления, в направлении которой начинает перетекать часть массы газа струи двигательной установки. Результат такого перераспределения массы заключается в изменении формы струи двигательной установки, вытягивающейся в сторону управляющей струи, при этом взаимодействие струй проявляется тем сильнее, чем выше скорость набегающего потока.

Невозможность принципиального улучшения характеристик аэродинамического управления АУР сделала актуальной необходимость разработки альтернативных методов управления АУР, а именно, газодинамического метода управления (ГДУ). В настоящее время фактически не существует универсальных методов анализа эффективности методов газодинамического управления авиационными управляемыми ракетами, поэтому создание математической модели и методики расчета газодинамических и тепловых параметров течений при полете АУР в режиме газодинамического управления также представляет собой актуальную задачу современной аэрокосмической техники.

В процессе выполнения работы получены таблицы сравнительных характеристик управляющих моментов и аэродинамического качества при различных методах газодинамического управления АУР. Выполнен анализ их эффективности, оценены достоинства и недостатки каждого метода, что безусловно, представляет практическую ценность для разработчиков ракетной и авиационной техники.

В первой части работы соискателем были рассмотрены существующие методы газодинамического управления летательным аппаратом, предложена математическая модель, описывающая как обтекание ЛА высокоскоростным потоком, так и высокотемпературное течение в тракте и сопле двигательной установки, проведена верификация математической модели по результатам экспериментальных продувок и данных других авторов.

Во второй части работы соискателем на основе разработанной и верифицированной математической модели выполнены численные исследования известных методов газодинамического управления ЛА, сделаны выводы об их эффективности и границах применимости.

Завершающая часть работы посвящена изучению и анализу сложных трехмерных структур, возникающих в результате комплексного

взаимодействия управляющей струи с поверхностью ЛА, сносящим потоком и ядром потока двигательной установки.

По итогам изложенных в работе материалов отмечаю, что научная новизна и практическая значимость диссертационной работы Платонова И.М. заключается в следующем:

- проведён критический анализ существующих методов газодинамического управления летательными аппаратами, рассмотрены и проанализированы результаты существующих схем и решений;

- сформулированы граничные условия полёта АУР в плотных слоях атмосферы;

- разработана математическая модель процессов теплообмена и газовой динамики, характерных для полета АУР при обтекании сверхзвуковым потоком, проанализированы достоинства и недостатки популярных моделей турбулентности для решения поставленных задач;

- разработана методика численного решения основных уравнений, проанализированы особенности методики, проведено исследование сеточной независимости решаемой задачи, влияния модели турбулентности на результаты расчетов;

- проведено тестовое сопоставление результатов численного решения предложенной математической модели, описывающей сложное взаимодействие струй в окрестностях авиационной управляемой ракеты при газодинамическом управлении направлением полета;

- проведены численные исследования параметров теплообмена и аэродинамических характеристик АУР для различных способов управления вектором тяги, выполнена оценка эффективности используемых методов;

- проанализированы эффекты, возникающие при взаимодействии управляющей струи со сносящим потоком, струей ракетного двигателя.

В целом считаю, что диссертационная работа «Тепло-массообмен при взаимодействии струй в режиме газодинамического управления летательным аппаратом» отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Платонов Иван Михайлович, заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14. – "Теплофизика и теоретическая теплотехника".



Л.В. Быков, к.т.н., доцент

Подпись доцента Быкова Л.В. удостоверяю

Директор института № 2



В.П. Монахова