

## **ОТЗЫВ**

**научного руководителя д.т.н., профессора Никитина П.В.  
на диссертационную работу Буляккулова М.М.**

**«Взаимодействие высокоскоростного гетерогенного потока с элементами конструкции ЛА», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»**

Квалификационная работа Буляккулова М.М. посвящена одной из важнейших проблемных научно-технических задач – исследованию механизма взаимодействия поверхности элементов конструкции высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА) с обтекающими их гетерогенными потоками.

Высокоскоростные гетерогенные потоки с дисперсными примесями в виде капель жидкости или твёрдых частиц широко распространены и являются одним из вредных факторов при эксплуатации техники. Эти факторы реализуются, например, при полёте высокоскоростных ЛА в гетерогенной атмосфере, при взаимодействии конструкции ЛА со струями РДТТ, в газогенераторах, газовых и паровых турбинах, в технологии абразивной обработки деталей и т.д. Особенно остро эта задача стоит в авиационной и ракетно-космической технике.

В этой связи, исследование механизма взаимодействия поверхности элементов конструкции высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА) с обтекающими их гетерогенными потоками, является актуальной проблемной задачей науки и техники.

В процессе выполнения работы автором решены ряд задач:

- исследование механизма взаимодействия высокоскоростного гетерогенного потока с поверхностью ряда конструкционных материалов;
- разработка математической модели процесса обтекания высокоскоростным неизотермическим гетерогенным потоком элементов конструкции летательного аппарата конической формы, притупленного сферой;
- с использованием предложенной математической модели проведение численного моделирования процесса обтекания гетерогенным потоком поверхности конструкции высокоскоростного летательного аппарата конической формы, притупленного сферой;
- получены зависимости для оценки эрозионного разрушения конструкционных и теплозащитных материалов при воздействии высокоскоростных высокотемпературных потоков.

Отмечаю, что выполненная соискателем работа комплексная – экспериментально-теоретическая. Она включает несколько взаимосвязанных частей. В одной из таких частей проанализирована газодинамика течения гетерогенных потоков. Показано, что при моделировании газодинамики

течения гетерогенных потоков целесообразно применять допущение модели взаимопроникающих континуумов. Установлены границы применимости этой модели. Выявлена также природа основных сил, действующих в газовом потоке на изолированную частицу.

На основе полученных результатов автором разработана математическая модель для решения задачи обтекания высокоскоростным неизотермическим гетерогенным потоком летательного аппарата конической формы. Данная математическая модель содержит в себе уравнения как для течения газовой фазы, так и «К-фазы».

Для решения разработанной математической модели автором предложен CFD комплекс ANSYS CFX. На базе разработанной расчётной схемы в предложенном комплексе проведена серия вычислительных экспериментов, которая позволила оценить влияние размеров К-фазы на физическую картину протекания исследуемого процесса. Выполнено также сопоставление полученных результатов с опубликованными расчётными и экспериментальными данными известных классических теоретических и экспериментальных задач подобного рода.

В следующей части работы проведено исследование механизма эрозии нагретых конструкционных материалов при взаимодействии с гетерогенным потоком. В результате установлено наличие пороговых значений скорости частиц и температуры, при достижении которых реализуется резкое увеличение интенсивности их эрозионного разрушения. Получены и рекомендованы соотношения для оценки этого процесса.

Для некоторых конструкционных и теплозащитных материалов произведен расчет зависимости эффективной энтальпии эрозионного разрушения, как функции температуры поверхности. Приведенные данные позволяют рассчитать термоэрозионного разрушения элементов конструкции высокоскоростных ЛА.

Кроме того, автором проведен анализ влияния массовой концентрации частиц в гетерогенном потоке на механизм термоэрозионного разрушения стеклопластика, как одного из широко используемых материалов в авиационной и ракетно-космической техники. Анализ позволил получить характеристики термоэрозионного разрушения материала.


По итогам изложенных в работе материалов отмечаю, что научная новизна практическая значимость диссертационной работы Буляккулова М.М. выражается в том, что:

– предложена математическая модель процесса обтекания высокоскоростным неизотермическим гетерогенным потоком элементов конструкции ЛА конической формы, притупленного сферой. С использованием предложенной модели проведено численное моделирование процесса обтекания гетерогенным потоком поверхности конструкции высокоскоростного ЛА;

- рассчитаны зависимости эффективной энтальпии эрозионного разрушения, как функции температуры поверхности для некоторых теплозащитных материалов;
- проведена оценка интенсивности эрозионного разрушения материалов;
- получены соотношения для расчёта процесса разрушения высокоскоростным гетерогенным потоком.

В целом считаю, что диссертационная работа Буляккулова Марселя Маратовича «Взаимодействие высокоскоростного гетерогенного потока с элементами конструкции ЛА» отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14. – "Теплофизика и теоретическая теплотехника".

11.10.2017 г.

 П.В. Никитин,  
д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ.

Подпись профессора Никитина П.В. удостоверяю

И. О. Декана факультета № 2



 В.П. Монахова.