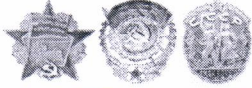




Госкорпорация «РОСКОСМОС»
Федеральное казенное предприятие
"Научно-испытательный центр
ракетно-космической промышленности"



ФКП «НИЦ РКП»

Бабушкина ул., 9 д., г.Пересвет, Сергиево-
Посадский р-н, Московская обл., Россия,
141320,

Тел. (496)546-3321. Телекс 846246 АГАТ

Факс (496)546-7698, (495)221-6282(83)

E-mail: mail@nic-rkp.ru

ОГРН 1025005328820 ОКПО 07540930

ИНН/КПП 5042006211/504201001

От 30.03.17 № 136-1432

ФГБОУ ВПО

«Московский авиационный институт»
(Национальный исследовательский университет)

Ученому секретарю диссертационного совета
Д212.125.08 доктору технических наук,
профессору Ю.В. Зуеву

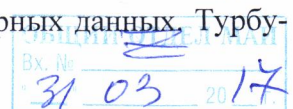
Волоколамское шоссе, д.4, Москва, А-80,
ГСП-3, 125993

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Пашкова Олега Анатольевича
«Тепло-массообмен на поверхности элементов конструкции гиперзвуковых лета-
тельных аппаратов самолетных схем при полете в атмосфере», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14.
«Теплофизика и теоретическая теплотехника»**

Диссертация Пашкова Олега Анатольевича посвящена разработке и тестированию математической модели процессов, происходящих при обтекании элементов конструкции летательных аппаратов (ЛА) гиперзвуковым воздушным потоком. Эффективное экспериментальное физическое моделирование гиперзвуковых высотных течений в наземных условиях ограничено, а проведение лётных экспериментов очень дорого, поэтому численное моделирование и создание математических моделей, дающих достоверную оценку теплового состояния конструкции, являются актуальными при создании гиперзвуковых летательных аппаратов.

Пашковым О.А. разработана математическая модель процессов газодинамики, протекающих в химически активном пограничном слое на поверхности гиперзвуковых ЛА с учётом турбулентности, неравновесных химических реакций, а также изменения в широком диапазоне теплофизических свойств компонентов газовой смеси. Для дискретизации уравнений механики сплошной среды применялся конечно-объемный метод. Решение дискретных аналогов в дифференциальных уравнениях выполнялось применением связанного солвера, который совместно решал уравнения неразрывности, импульса, энергии и переноса компонентов. Газовая среда представлялась смесью из одиннадцати компонентов N_2 , O_2 , NO , N , O , NO^+ , N_2^+ , O_2^+ , N^+ , O^+ , e . Теплофизические свойства смеси вычислялись, как средневзвешенные по концентрациям компонентов. Плотность и теплоемкость компонентов смеси определялась функцией температуры, теплопроводность определялась на основе кинетической теории газов, вязкость задавалась корреляцией Блоттнера. При гиперзвуковых скоростях потока характерный временной масштаб потока подобен временному масштабу протекания химических процессов, поэтому эффекты диссоциации и рекомбинации учитывались с помощью модели химической кинетики. Константы в уравнениях Аррениуса для химических реакций были взяты из литературных данных. Турбу-





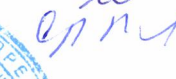
лентность учитывалась путём решения четырех уравнений гибридной полуэмпирической модели турбулентности Transition SST.

Достоверность математической модели подтверждаются удовлетворительным совпадением результатов численного моделирования с данными стендовых экспериментов, расчётными данными других авторов, полученными при прочих равных начальных условиях. Верификация проводилась путём сравнения с расчётными данными других авторов полей основных параметров при обтекании гиперзвуковыми потоками поверхностей разных форм: сферы, конуса, притупленной сферой, модели планетарного зонда, модели спускаемого аппарата, цилиндра, притупленной сферой, а также перспективного малоразмерного крылатого возвращаемого орбитального аппарата. В качестве экспериментальных данных, на которых проводилось тестирование программы, использовалось распределение плотности теплового потока по поверхности модели и положение фронта ударной волны на теневых фотографиях обтекания модели в аэродинамической трубе.

Применение данной математической модели позволит при проектировании гиперзвукового ЛА определить с достаточной точностью параметры газового потока на его поверхности. Это позволит целенаправленно использовать для защиты теплонапряжённых элементов термостойкие и жаропрочные материалы, оптимизировать массовые, габаритные и аэродинамические характеристики аппарата и сделать его многоразовым.

Однако, автореферат диссертации не лишен недостатков. Из него не ясно, как рассчитывалась температура поверхности носка фюзеляжа малоразмерного возвращаемого крылатого гиперзвукового аппарата. К недостаткам математической модели относится также произвольный выбор температуры стенки в качестве граничных условий. Тепловой поток от газовой струи к элементу конструкции ЛА определяется, в том числе, и температурой стенки, которую можно вычислить, зная параметры этой стенки (толщину, теплоемкость, теплопроводность, и т.д.). Для этого должна решаться более комплексная задача сопряжённого теплообмена – задача газодинамики в набегающем воздушном потоке и теплоперенос в твердом теле. Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы

Диссертация Пашкова О.А. по своему содержанию, объёму исследований, научной и практической значимости результатов соответствует требованиям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Главный научный сотрудник д-р техн. наук, профессор  А.Г. Галеев
Начальник отдела  А.Т. Рыжков
Старший научный сотрудник канд. техн. наук  В.А. Орлов

Подписи А.Г. Галеева, А.Т. Рыжкова и В.А. Орлова заверяю  Г.С. Лещенко
Ученый секретарь ФКП «НИЦ РКП»

Галеев Айвенго Гадыевич Адрес: ул. Гагарина д.2, кв.22, г. Пересвет, Московская область, 141320, т. (496) 546-34-75 (раб.), a.galeev@nic-rkp.ru.

Рыжков Александр Тихонович Адрес: ул. Гагарина, д.5, кв. 184, г.Пересвет, Московская область, 141320, тел. (8-496) 546-34-88(раб.), a.rizhkov@nic-rkp.ru.

Орлов Владимир Аркадьевич Адрес: ул.Гагарина, д.3.кв.40, г.Пересвет, Московская область, 141320, тел. (8-496) 546-34-88(раб.), mail@nic-rkp.ru