



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ВОЕННО-ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ  
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
ОБЪЕДИНЕНИЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**

(АО «ВПК «НПО машиностроения»)  
ул. Гагарина, д. 33, г. Реутов, Московская область, 143966  
телеграфный: Реутов Московской ВЕСНА (АТ346416)  
Тел.: (495) 528-30-18 (канцелярия) Факс: (495) 302-20-01  
E-mail: vpk@vpk.npomash.ru http://www.npomash.ru  
ОКПО 07501739, ОГРН 1075012001492  
ИНН/КПП 5012039795/504101001

03.12.2021

№ 12/104

на №

от

В диссертационный совет

Д 212.125.14

Московского авиационного  
института  
ученому секретарю

д. ф.-м.н. Гидаспову В. Ю.

125993, Москва, А-80, ГСП-3,

Волоколамское шоссе, д.4,

### ОТЗЫВ

На автореферат диссертации Харченко Николая Анатольевича на тему  
“Численное моделирование аэротермодинамики высокоскоростных  
летательных аппаратов”, представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности

01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертация посвящена решению актуальных задач  
аэродинамического и теплового расчетов, возникающих при создании  
перспективных аппаратов космической техники, совершающих полет в  
высокотемпературном гиперзвуковом потоке вязкого, химически  
реагирующего газа с учетом процессов ионизации и диссоциации.

Экспериментальные исследования (наземные в аэродинамических  
трубах и летные в натурных условиях) связаны с большими затратами  
времени и материальных ресурсов. В связи с этим всё возрастающее  
значение приобретает разработка численных методов моделирования  
обтекания летательного аппарата и его частей. Рост мощности  
современных компьютеров позволяет проводить расчёт аэротермодинамики

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

06 12 2021 г.

гиперзвуковых аппаратов с использованием численных методов, основанных на решении уравнений Навье – Стокса. Именно этот метод положен в основу для решения поставленных в диссертации задач.

Для реализации поставленных задач автором разработана программная платформа для суперкомпьютерного моделирования задач аэротермодинамики гиперзвуковых летательных аппаратов сложной геометрической формы.

Для решения систем уравнений газовой динамики с учетом эффектов нестационарности, трехмерности, вязкости и химической кинетики диссертантом реализован метод на базе разработанного компьютерного кода ГРАТ.

Апробация разработанного метода проведена на примерах сопоставления результатов расчета: по распределению давления на поверхности тела вращения (спецснаряд) с экспериментальными данными центра авиационных исследований NASA при значении числа Маха  $M=1.1$ ; по определению коэффициента сопротивления сферы и отхода ударной волны в области критической точки с экспериментальными данными центра авиационных исследований ЦАГИ.

При обтекании затупленных тел гиперзвуковым потоком проведено исследование нерегулярности расчетной сетки на проявление неустойчивости численного расчета, а также разработан метод устранения численной неустойчивости при расчете сильных ударных волн.

Проведенные автором исследования пристеночных течений с помощью разработанного им кода ГРАТ показали хорошее согласование с известными решениями: расчет профиля скорости в пограничном слое для пластины при числе Маха  $M=2$  хорошо согласуется с точным аналитическим решением; результаты расчета распределения давления и теплового потока по поверхности тела вращения цилиндро-конической формы хорошо согласуются с экспериментальными данными центра исследований аэронавтики CUBRC.

На примере спускаемого аппарата Апполон-4 проведено сравнение результатов расчета распределения давления, температуры, массовых концентраций частично ионизованного газа и плотности полного теплового потока в сжатом слое вдоль критической линии тока по трем моделям: ГРАТ, равновесной термодинамики Крайко и химической кинетики 11-ти компонентного воздуха Парка.

Автор провел сравнительный анализ результатов численных решений с помощью кода ГРАТ с данными, полученными с известными кодами вычислительной аэротермодинамики NASA, LAURA, DPLR и US3D.

#### Замечания по автореферату диссертационной работы


1. Приводимые в автореферате результаты относятся к осесимметричным аппаратам, в то время как многие важные задачи связаны с исследованием обтекания пространственных компоновок.
2. Распределение концентраций химических компонентов приводится вблизи критической линии, хотя часто такие распределения более важны в других частях потока.
3. Отсутствует описание метода численного решения уравнений химической кинетики в околоравновесных областях.

Приведенные замечания не меняют общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе.

В целом, представленная данным авторефератом диссертация является законченной квалификационной научной работой, удовлетворяющей базовым требованиям, представляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор Харченко Николай Анатольевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05—«Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании секции №2 НТС АО "ВПК  
"НПО машиностроения" (протокол № 167 от 29.11.21) .


Заместитель начальника ЦКБМ, начальник  
отделения аэродинамики и баллистики,  
кандидат физико-математических наук  
тел. (495) 528-17-90

 Юрий Алексеевич  
Прохорчук Ю. А.

Начальник отдела,  
доктор технических наук  
тел. (495) 528-31-12)

 Владимир Пантелеевич  
Котенев

Старший научный сотрудник,  
кандидат технических наук  
тел. (495) 528-31-12)

 Мазит Ахметович  
Закиров

Ученый секретарь НТС предприятия,  
кандидат физико-математических наук  
тел. (495) 300-93-14)

 Леонид Сергеевич  
Точиллов



Адрес: АО «ВПК «НПО машиностроения»  
Россия, 143966, Московская область, г. Реутов, ул. Гагарина, д.33  
тел: (495) 300-93-14  
e-mail: tochilov@vpk.npomash.ru