



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО  
«ИСКРА»  
ИМЕНИ ИВАНА ИВАНОВИЧА КАРТУКОВА»  
(АО «МКБ «Искра»)**

Ленинградский проспект, д. 35, г. Москва, Россия, 125284  
Тел.: (495) 945-43-59, факс (495) 945-19-51 E-mail: info@iskramkb.ru  
ОКПО 07539216 ОГРН 1027714027395 ИНН/КПП 7714288059/771401001

**Joint stock company «Machine building designers, bureau «Iskra»  
in the name of Ivana Ivanovicha Kartukova» (JSC «MBDB «Iskra»)**

35, Leningradsky avenue, Moscow, Russia, 125284

Phone: (495) 945-43-59  
Fax: (495) 945-19-51

Экз. № \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор  
АО «МКБ «Искра»

доктор технических наук,  
профессор,

член корреспондент РАН

В.А. Сорокин

2019 г.



**ОТЗЫВ**

на автореферат диссертационной работы Тушканова Алексея Сергеевича «Термически и химически неравновесные процессы в факеле маршевого двигателя твердого топлива», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Диссертационная работа Тушканова А.С. посвящена разработке методики расчета термически и химически неравновесных процессов в факеле маршевого двигателя твердого топлива.

Целью работы является численное моделирование процессов тепло- и массообмена в высокоскоростных химически активных турбулентных струях.

Тема является актуальной, так как, в настоящее время растет интерес к высокоскоростным летательным аппаратам (ЛА). Для их разработки

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 23 / 12 / 2019

необходимо решать задачи, связанные с процессами, проходящими при гиперзвуковом полете в плотных слоях атмосферы, догорании топлива в факеле ракетного двигателя, ударной волне, возникающей при входе в плотные слои атмосферы. На данный момент существуют разные модели, описывающие процессы, протекающие в высокоскоростных турбулентных струях. Однако они требуют больших вычислительных мощностей, и в них не учитывается влияние химических реакций на процессы турбулентного переноса.

В работе решены следующие задачи:

1. Разработан и реализован метод расчета высокоскоростных струй с неравновесными химическими и термическими реакциями. При этом учитывается влияние сжимаемости на процессы турбулентного переноса массы и энергии, влияние турбулентных пульсаций на скорости химических реакций, влияния химических реакций на процессы турбулентного переноса массы и энергии.
2. Реализован метод оценки влияния горения на турбулентность путем решения дополнительных уравнения переноса дисперсии концентрации и энтальпии.
3. Предложена модификация SST модели турбулентности с учетом влияния высокоскоростной сжимаемости.

При этом обнаружено, влияние турбулентности проявляется преимущественно в задачах воспламенения и срыва горения. Проанализирован характер движения частиц твердой фазы в факелах РДТТ на высотах от 30 до 100 км, для размеров частиц от 1 до 6 мкм.

В автореферате диссертации представлено краткое изложение методических подходов и результатов решения отмеченных задач. При этом методика и результаты проведенных исследований представлены достаточно подробно и наглядно.

Оценивая эти результаты с точки зрения сегодняшних потребностей практики, можно отметить следующее:

1) Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработанная модель течения высокоскоростного реагирующего потока реализована в программном коде, и может быть применена при расчете химически реагирующих турбулентных струй.

2) Практическая ценность результатов заключается в том, что они могут быть применены при проектировании высокоскоростных прямоточных двигателей, выдачи рекомендации при выборе зоны подачи горючего, расчёта теплозащитного покрытия, при расчете заметности ракет.

Необходимо отметить следующие замечания:

1. В разделе автореферата «Актуальность темы диссертации» описаны эмпирические, полуэмпирические и аналитические методы решения рассматриваемой задачи. Указаны их преимущества, недостатки. Используемые численные методы описаны в отдельном пункте, и не приведены их недостатки. Нет явно выраженного обоснования выбора именно численных методов.
2. В заключение автореферата указывается, что результаты расчета полей температуры и концентрации при использовании предложенной модели воздействия горения на турбулентный перенос энергии и химических компонентов могут существенно отличаться от расчетов с использованием постоянных турбулентных чисел Прандтля/Шмидта. Но не указаны значения данных расхождений.

Отмеченные замечания не снижают научной ценности представленной работы и носят рекомендательный характер.

Оценивая работу в целом, можно сказать, что диссертация Тушканова А.С. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, посвященную актуальной теме. Работа удовлетворяет требованиям,

предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника», а ее автор, Тушканов Алексей Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Заместитель главного конструктора по НИР

кандидат технических наук, доцент

Тел: +7 (495) 614-00-52

E-mail: oir@iskramkb.ru

А.Ю. Норенко

Начальник отдела инновационного развития

кандидат технических наук

Тел: +7 (495) 614-00-52

E-mail: oir@iskramkb.ru

М.А. Тихомиров

Специалист по науке

Тел: +7 (495) 614-00-52

E-mail: oir@iskramkb.ru

А.Ю. Беляков

Акционерное общество «Машиностроительное конструкторское бюро «Искра» имени Ивана Ивановича Картукова»

Адрес: 127287, Россия, г. Москва, Петровско-Разумовский проезд, д. 28

Тел.: +7 (495) 945-43-59, факс: +7 (495) 945-19-51

E-mail: info@iskramkb.ru