

ОТЗЫВ

на диссертацию Задаулы Акерке Еркиновной на тему «Численное моделирование высокоскоростного течения в камере сгорания со вдувом возмущенной струи», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074600 - Космическая техника и технологии.

Задаулы А.Е. начала работать младшим научным сотрудником в лаборатории гидродинамики Института математики и математического моделирования КН МНВО РК с 2015 года и с этого времени занимается численным моделированием сверхзвуковых течений. В 2017 году она поступила в докторантуру по специальности 6D074600 – «Космическая техника и технологии» под моим руководством. Ею опубликовано 7 работ, в том числе 2 публикации в научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК для публикации основных результатов научной деятельности; 2 публикации в рейтинговых научных изданиях, индексируемых Scopus и Thompson Reuters (импакт-фактор не менее $IF=0.40$), а также 3 публикации в материалах международных конференций. В 2020 году Задаулы А.Е. завершила полный курс докторантуры, и представленная диссертационная работа является итогом ее многолетней исследовательской работы над численным изучением закономерностей струйных сверхзвуковых турбулентных течений.

На данный момент одной из актуальных проблем, связанных с разработкой авиационной техники, является сложность реализации натурных экспериментов, в связи с чем возникает необходимость математического моделирования высокоскоростных течений, возникающих в прямоточных воздушно-реактивных двигателях (ПВРД) сверхзвуковых и гиперзвуковых летательных аппаратов. Основной проблемой при использовании таких двигателей является достижение полноты сгорания топлива, которая достигается за счет улучшенного смешения топлива с окислителем. Это в свою очередь приводит к необходимой тяге. Несмотря на то, что на данный момент существует немало способов улучшения смешения топливно-окислительной смеси, большинство из них требует конструирования камер сгорания со сложной геометрией (различные уступы, каверны на стенках и т.д.), что в свою очередь приводит к увеличению стоимости таких двигателей. Существует еще один подход к возрастанию скорости смешения, который не требует изменений в геометрии камеры сгорания. Суть его состоит в наложении дополнительного детерминистического возмущения на струю. Данный подход достаточно хорошо изучен в дозвуковых течениях, при этом для сверхзвуковых и гиперзвуковых течений применимость этого метода остается малоизученной проблемой. Необходимо учитывать, что рассматриваемые в работе течения, характеризуются сложностью физического процесса, обусловленной ударными волнами, а также широким диапазоном возникающих в ходе

моделирования пространственных турбулентных вихревых структур. Процесс исследования и моделирования таких течений является трудоемким, а сами механизмы течения все еще остаются не до конца изученными, а проблема актуальной.

В диссертационной работе Задаулы А. получены результаты, вносящие несомненный вклад в теорию струйных течений. В представленной работе посредством численных экспериментов проведен всесторонний анализ истечения высокоскоростной турбулентной струи при расчетном режиме, а также истечения системы недорасширенных струй в сверхзвуковой спутный поток. Существуют различные методы расчета турбулентных течений, среди которых известные методы RANS, DNS, LES. В каждом из перечисленных методов есть как преимущества, так и недостатки. В диссертационной работе Задаулы А. применяется LES моделирование, в виду того, что он не требует больших вычислительных ресурсов, которые необходимы в DNS, и, в отличие от RANS метода, способен моделировать реальную турбулентность. Основной трудностью LES моделирования является постановка граничных условий, приводящих к получению пространственной анизотропной неоднородной турбулентности близкой к реальной.

Автором была сформулирована численная модель пространственного сверхзвукового турбулентного течения струи совершенного газа, вдуваемой в высокоскоростной спутный поток, которая описывается трехмерными LES осредненными по пространству уравнениями Навье-Стокса, замкнутыми вязкой моделью Смагоринского. Изложен алгоритм численного решения системы уравнений на основе ENO-схемы третьего порядка точности. В работе были предложены граничные условия на входе, генерирующие анизотропную неоднородную трехмерную турбулентность, близкую к реальной. Далее автором были построены новые улучшенные граничные условия, включающие в себя дополнительное детерминистическое возмущение. Как показал анализ численного моделирования проблемы истечения сверхзвуковой струи в высокоскоростной спутный поток при расчетном режиме, использование предложенных граничных способствует раннему росту формированию крупных когерентных структур и быстрому процессу последующей за этим свертки вихрей, что в свою очередь увеличивает толщину завихренности. Для проблемы вдува системы недорасширенных струй в сверхзвуковой спутный поток были установлены закономерности влияния степени нерасчетности и чисел Маха струй и потока на механизм формирования ударно-волновой структуры и ее влияние на зону смешения. Также были получены амплитудно-частотные параметры детерминистического возмущения, приводящие к улучшению смешения системы струй со спутным потоком.

Практической значимостью работы является то, что полученные результаты вносят большой вклад в фундаментальное исследование истечения турбулентных струй в сверхзвуковой спутный поток. С помощью предложенных автором новых граничных условий проведено большое количество численных экспериментов, что позволило изучить механизмы формирования турбулентных вихревых структур и провести амплитудно-

частотный анализ детерминистического возмущения. Эти результаты могут быть полезными при проектировании ПВРД, в частности для конструирования камер сгорания.

При работе над диссертацией Задаулы А. показала себя как работоспособного и творческого человека, который не останавливается на достигнутом. На основании вышеизложенного с уверенностью могу сказать, что диссертация на тему «Численное моделирование высокоскоростного течения в камере сгорания со вдувом возмущенной струи» достойна быть представленной на соискание степени доктора философии (PhD) и на защиту по специальности «6D074600 - Космическая техника и технологии», а соискатель Задаулы А. достойна присуждения ей степени доктора философии (PhD).

Научный руководитель,
Доктор физико-математических наук

Бекетаева А.О.

Бекетаева А.О

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҒЫЛЫМИ КӘДРЛАРДЫ
ДАМУ ЖӘНЕ АТТЕСТАТТАУ БАСҚАРМАСЫНЫҢ БАСШЫСЫ

ЗАВЕРЯЮ

Начальник управления подготовки и аттестации
научных кадров КазНУ им. аль-Фараби

А.О. Бекетаева
«___» _____ 2021 ж./г.

