



НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ
НАВУК БЕЛАРУСІ

Дзяржаўная навуковая ўстанова
«ІНСТЫТУТ ЦЕПЛА- І МАСААБМЕНУ
імя А.В. ЛЫКАВА НАЦЫЯНАЛЬнай
АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ»

вул. П. Броўкі, 15, 220072, г. Мінск
Прыёмная: +375 (17) 3502136; факс: +375 (17) 3782513
e-mail: office@hmti.ac.by; URL: <http://www.itmo.by>

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ
НАУК БЕЛАРУСИ

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА
имени А.В. ЛЫКОВА НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск
Приёмная: +375 (17) 3502136; факс: +375 (17) 3782513
e-mail: office@hmti.ac.by; URL: <http://www.itmo.by>

№ _____
На _____ ад _____

Отзыв

члена диссертационного совета **Пенязькова Олега Глебовича**
на диссертацию Савеловой Карины Эдуардовны на тему «Регулярное
и маховское отражение газодинамических разрывов с энергосвободением»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы

Создание летательных аппаратов, обеспечивающих полет и маневрирование в атмосфере со скоростями, существенно превышающими звуковые, вызывает необходимость распространения теории взаимодействия газодинамических разрывов на случай существенно сверхзвуковых и реагирующих потоков. При этом, для оперативного анализа возникающей структуры течения, оптимизации образующихся ударно-волновых конфигураций, оценки различных аэродинамических схем компоновки системы принципиально важно понимание распределения тепловых и механических напряжений на стенках и объеме конструкции, а также локальных зон различных режимов горения в системе, возникающих в результате таких ударно-волновых взаимодействий. Все это делает тему и направленность диссертационной работы К.Э. Савеловой «Регулярное и маховское отражение газодинамических разрывов с энергосвободением» **актуальной и практически востребованной.**

Несмотря на обширную предысторию исследований в этой области, диссертационная работа К.Э. Савеловой отвечает критериям **научной новизны**. Например, уже для «классического» случая (маховское отражение в совершенном газе, без химических реакций и энергосвободения на главном скачке) автором разработана оригинальная модель оценки возникающего поля течения, основанная на решениях частных задач взаимодействия скачков и волн между собой и с различными поверхностями, ранее полученных В.Н.Усковым и его учениками. В частности, определены параметры падающих скачков уплотнения, обеспечивающих минимум статического давления и температуры газа за отраженным скачком, описываемые кубическим уравнением в переменных «интенсивность скачка

– число Маха набегающего потока». Аналогичное кубическое уравнение аналитически определяет углы наклона преграды, при которых минимальны статическое давление и температура за точкой регулярного отражения бегущей ударной волны заданной амплитуды.

В работе рассмотрены отдельные задачи взаимодействия газодинамических разрывов и волн, включая решение для тройной конфигурации маховского отражения, сопряжения волны Прандтля-Майера с предшествующим догоняющим скачком уплотнения, встречным скачком и квазиодномерным потоком, взаимодействия падающей централизованной или простой волны разрежения с тангенциальным разрывом. Разработана новая аналитическая модель ударно-волновой структуры сверхзвукового течения с маховским отражением. На основе результатов, полученных для сверхзвуковой перерасширенной струи или течения в сужающемся канале, показана её высокая точность при определении размера главного (маховского) скачка.

Автором диссертации показано, что импульсное энерговыделение за главным (маховским) скачком, а также уменьшение показателя адиабаты газа, вызванное протеканием быстрых химических реакций, приводят к расширению области существования маховского отражения при всех числах Маха сверхзвукового течения. Выявлены условия существования и проведен параметрический анализ тройных конфигураций скачков уплотнения, возникающих в этих случаях. Энерговыделение за главным скачком способствует маховскому отражению относительно слабых падающих скачков, которые при отсутствии горения, детонации и других физико-химических эффектов отражаются только регулярно.

Предложена новая приближенно-аналитическая модель для быстрого расчёта параметров ударно-волновой структуры течения реакционноспособной газовой смеси с маховским отражением, которая впервые учитывает изменение химического состава и импульсный энерговыделение на главном скачке, который таким образом, превращается в стационарную детонационную волну. Малая по сравнению с характерными размерами технических устройств толщина зоны «химпика» позволяет пренебречь кинетикой химических реакций за главным скачком при выводе аналитических соотношений. Таким образом, главный скачок, рассматривается в рамках модели Чепмена-Жуге как косая стационарная детонационная волна с мгновенным энерговыделением и сменой химического состава газа, проявляющей себя в изменении его показателя адиабаты. Первичные результаты, полученные при расчете сверхзвукового струйного течения метановоздушной, водородовоздушной или водородокислородной газовой смеси, демонстрируют более раннее возникновение маховского отражения по сравнению с аналогичным течением в совершенном газе, но и значительное увеличение геометрических размеров главного скачка, что находят своё подтверждение данными численного моделирования.

В ряде работ автора диссертации и его научного руководителя предложена идея комбинированного прямого воздушного реактивного двигателя, использующих потоки газа, разделенные тангенциальным разрывом за тройной точкой маховского отражения, в термодинамических циклах Фикетта-Джейкобса и Брайтона. Разработка такого двигателя является одним из возможных практических приложений результатов диссертационного исследования.

Результаты, получаемые для течений с импульсным энерговыделением, согласованы с получаемыми в «классических» условиях течений совершенного газа без химических реакций, а также с результатами численного эксперимента и ранее опубликованными данными, что показывает их **достоверность** и возможность применения в дальнейшей инженерной практике.

Представленная диссертационная работа получила достаточную степень **апробации**. Её результаты доложены и обсуждены на более чем 20 научно-технических мероприятиях высокого уровня. Основные научные результаты, полученные соискателем, **опубликованы** в научных изданиях, индексируемых в международных базах научного цитирования SCOPUS и Web of Science, а также в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России (около 10 публикаций в рецензируемых изданиях).

Несмотря на общее положительное впечатление от представленной диссертационной работой, к ней есть некоторые **замечания**, которые скорее можно рассматривать как пожелания рецензента:

1. Автором предложена приближенно-аналитическая модель для расчёта параметров ударно-волновой структуры, которая учитывает изменение химического состава и импульсное энерговыделение на главном скачке, который таким образом, превращается в стационарную детонацию Чепмена-Жуге. Однако в случае детонации большинства топливно-воздушных смесей в условиях ПВРД ее фронт имеет ячеистую структуру с характерным размером от 1 до 5 см, а интенсивность головного скачка уплотнения существенно варьируется от 0.8 до 1.6 скорости детонации Чепмена-Жуге по направлению нормали к фронту волны. Было бы неплохо понять, устойчивость маховской конфигурации при постоянном изменении интенсивности головного скачка при соблюдении условий импульсного энерговыделения.

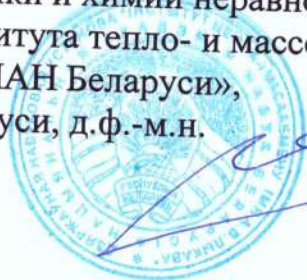
2. Максимальные силовые нагрузки на элемент конструкции при косом отражении ударной волны заданной амплитуды были впервые обнаружены и проанализированы С.А. Христиановичем и его коллегами. Поэтому результаты в параграфе 2.1 представленной диссертации, являются новыми только в части, касающейся экстремальных тепловых нагрузок на стенку.

Данные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Савеловой К.Э., научной новизны и уровня работы в целом.

Таким образом, диссертация Савеловой Карины Эдуардовны на тему «Регулярное и маховское отражение газодинамических разрывов с

энерговывделением» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Соискатель Савелова Карина Эдуардовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,
Зав. отделением физики и химии неравновесных
сред, директор Института тепло- и массообмена
имени А.В. Лыкова НАН Беларуси»,
академик НАН Беларуси, д.ф.-м.н.




О.Г. Пенязьков

09.12.2024г