

## Отзыв

члена диссертационного совета **Булата Павла Викторовича**  
на диссертацию Савеловой Карины Эдуардовны, выполненную 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

Диссертация К. Э. Савеловой «Регулярное и маховское отражение газодинамических разрывов с энергосвободением» посвящена исследованию ударно-волновых структур, возникающих в высокоскоростных потоках газов и газовых смесей, в том числе в условиях, когда на отдельных газодинамических разрывах возникают физико-химические процессы с импульсным энергосвободением и изменением химического состава газовой смеси, т.е. детонационные процессы. Перспективы развития детонационных двигателей, имеющих потенциально большие преимущества с точки зрения эффективности термодинамического цикла перед традиционными газотурбинными и воздушно-реактивными двигателями, работающими по термодинамическому циклу сжигания топлива при постоянном давлении, делают выбранную тему работы особенно актуальной.

В рамках работы использованы проверенные и хорошо зарекомендовавшие себя математические модели и результаты решения задач о взаимодействии элементов ударно-волновых структур между собой и с различными поверхностями, полученные ранее В.Н. Усковым и его последователями (П.В. Булатом, А.В. Омельченко, М.В. Чернышовым и другими авторами). Для качественного описания стационарной детонации на сильных скачках уплотнения использована классическая модель Чепмена-Жуге. Результаты, полученные автором работы, соответствуют данным численного эксперимента и верифицированы данными других авторов, что не оставляет сомнений в их научной достоверности.

Научная новизна диссертационного исследования присутствует, прежде всего, в главах 2 и 3. В главе 2 проведено исследование регулярного отражения косых скачков уплотнения, выявлены случаи отражения скачков фиксированной интенсивности, доставляющие экстремум динамических и тепловых нагрузок за отраженным скачком, и дана нестационарная интерпретация полученного решения, соответствующая результатам А. А. Рыжова и С. А. Христиановича. Проведено параметрическое исследование неоднозначности решения для стационарных ударно-волновых структур, в том числе для маховского отражения с отрицательным углом наклона отраженного скачка, существование которого ранее было обосновано Л. Г. Гвоздевой и её соавторами. На основе полученных ранее частных решений задач об интерференции газодинамических разрывов и волн разработана новая приближенно-аналитическая модель течения с маховским отражением скачков уплотнения, позволяющая оценить параметры ударно-волновой структуры и свойства потока в целом с высокой точностью в режиме реального времени полёта. В главе 3 обращено внимание на тот факт, что течение за главным скачком уплотнения при маховском отражении обладает существенно более высокой температурой, чем набегающий поток или течения за падающим и отраженным скачками. Следовательно, именно в области течения за главным скачком наиболее вероятно возбуждение детонационных эффектов с энерговыделением и изменением химического состава газовой смеси. Данный вывод хорошо согласуется с практикой разработки детонационных реактивных двигателей, в частности, прямоточного и ротационного типа. В работе К. Э. Савеловой и её публикациях показано, что наличие импульсного энергоподвода приводит к перестройке ударно-волновой структуры течения: увеличиваются размеры маховского скачка, высота тройной точки, смещается граница маховского и регулярного отражения в сторону более слабых скачков, которые в совершенном газе без высокотемпературных эффектов отражались бы регулярно. В работах соискателя и его научного руководителя выведен



критерий перехода от маховского отражения к регулярному, соответствующий широко известному «критерию механического равновесия» в классическом случае без энергоподвода и изменения химического состава. Кроме того, оригинальная модель для быстрой оценки ударно-волновой структуры течения с маховским отражением, разработанная в гл. 2, обобщена на рассматриваемый случай и теперь допускает энерговыделение и изменение химического состава на главном скачке. Перечисленные научные результаты являются новыми, оригинальными и обладают высокой практической значимостью в части газодинамического проектирования детонационных двигателей.

Основные результаты работы полностью опубликованы в более, чем 20 публикациях, в том числе – в ведущих рецензируемых изданиях, и в достаточной степени прошли апробацию в научном сообществе путем обсуждения на 25 научных конференциях и симпозиумах.

Таким образом, в диссертационной работе К. Э. Савеловой представлен большой объем исследований, вносящих заметный вклад в современную теорию взаимодействия стационарных газодинамических разрывов. Однако при детальном знакомстве с материалами диссертационной работе возникает ряд замечаний, главным образом, редакционного и оформительского характера:

1. В работе довольно много опечаток, в ряде мест пропущены знаки препинания при оформлении формул, в разных местах используется абзацный отступ разного размера. При оформлении формул принято использовать прямое начертание греческих букв, а не наклонное. В тексте диссертации встречаются оба начертания греческих букв. На рисунках, обычно, используют тот же шрифт, что и в тексте, т.е. «таймс», при этом его размер не должен отличаться более, чем на 2 пункта, от размера шрифта в тексте.

2. Многие рисунки очень перегружены информацией, трудно читаемы и небрежно оформлены, особенно, рис.3.10.

Данные замечания не снижают общую положительную оценку представленной работы в целом. Диссертация Савеловой Карины Эдуардовны на тему «Регулярное и маховское отражение газодинамических разрывов с энерговыделением» 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,  
главный научный сотрудник  
научно-исследовательской лаборатории  
«Беспилотные авиационные и космические  
транспортные системы»  
Балтийского государственного  
технического университета «ВОЕНМЕХ»,  
доктор физико-математических наук

**П.В. Булат**

(дата, подпись, заверяющая подпись, печать)

Подпись Булата П.В.  
УДОСТОВЕРЯЮ  
НАЧАЛЬНИК УПРАВЛЕНИЯ  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Санкт-Петербургский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.В. Устинова  
190625, Санкт-Петербург, ул. Уткина, д. 19  
Тел: (812) 494-1000, факс: (812) 494-1001  
E-mail: info@voenmex.spb.ru, voenmex@voenmex.spb.ru  
www.voenmex.spb.ru

05.12.2024.