

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Украинского Дмитрия Владимировича

«Аналитические решения уравнений газовой динамики, механика пузырька  
в неньютоновских жидкостях и кумуляция энергии»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа посвящена вопросам построения аналитических решений уравнений динамики жидкости и газа, в том числе при наличии явления кумуляции энергии. Актуальность темы диссертации обусловлена востребованностью развития строгих математических методов исследования моделей гидродинамики и построения аналитических решений их дифференциальных уравнений, что позволяет изучать новые физические задачи, а также совершенствовать приближенные методы решения соответствующих систем. Данная область механики сплошных сред обладает не только научной теоретической ценностью, но и интересна практически во многих приложениях.

Диссертация состоит из трех различных по объему, но логически связанных между собой частей. В первой части (Гл. 1–3) изучаются решения в лагранжевых координатах одномерных уравнений нестационарной газовой динамики с плоскими волнами в виде степенных рядов, которые представляют собой течения без явного присутствия ударных волн. Основное внимание при этом уделяется построению точных решений, описывающих периодические во времени движения газа в трубе с двумя подвижными краевыми поршнями при переменной удельной энтропии. Здесь дано математическое доказательство существования и единственности таких аналитических решений, а также приведен ряд примеров, показывающий их разнообразие. При этом доказательство основано на аргументации теории Коши-Ковалевской и применении принципа мажорант. Приведенные оценки параметров движения поршней и распределения энтропии вдоль трубы служат аналитическим обоснованием примеров, рассмотренных в данной части диссертации. Кроме этого, с помощью разложения по степеням переменной удельной энтропии в работе решена задача о сильном безударном сжатии газа. Подход к построению решений в виде степенных рядов обобщается на случай произвольных термодинамических уравнений состояния с помощью специального преобразования полу годографа.

Во второй части диссертации (Гл. 4) исследовано явление нелинейного трехволнового резонанса в двумерной стационарной задаче газовой динамики. Подобное течение возможно в плоском сверхзвуковом канале с подходящими волнистыми формами стенок. При трех-волновом резонансе амплитуды мод периодически изменяются за счет взаимовлияния друг на друга, однако их максимальный рост ограничен суммарной энергией системы. Решение уравнений взаимодействия волн выра-

жается в терминах эллиптических функций и, как следствие, при определенных параметрах задачи может стать неперiodическим. При этом одна из волн будет монотонно расти за счет поглощения энергии двух других.

В третьей части диссертации (Гл. 5 и 6) найдено точное решение старой проблемы об оптимальном безударном сжатии сферическим поршнем в точку нелинейно-вязкой теплопроводной среды с термодинамическими параметрами совершенного газа. Рассматриваемое течение происходит из состояния покоя за счет движения сжимающего сферического поршня. При этом сделано существенное допущение, согласно которому вектор скорости имеет вид  $\mathbf{v} = \mathbf{r}/t$ ; это позволяет принять его декартовы компоненты за лагранжевы переменные. В результате разделения этих переменных получено трехмерное уравнение Пуассона, решение которого эффективно моделирует сжатие пузырька или капли в данной среде. В работе рассчитана полная энергия среды и проанализировано ее поведение в момент сжатия в точку, когда кинетическая энергия сохраняется и ограничена, а внутренняя энергия при определенных значениях параметров задачи стремится к бесконечности. Изучено распределение потоков тепла в окрестности фокусировки сферического пузырька; показано, что положение сжимающего поршня может быть выбрано так, чтобы поток тепла на поршне равнялся нулю. Помимо этого, решена задача о концентрации энергии при заполнении вакуумной сферической полости несжимаемой степенной неньютоновской жидкостью. Найдены определяющие параметры задачи, для которых происходит концентрация кинетической энергии жидкости, изучены ее экстремальные свойства.

Представленная диссертационная работа прошла апробацию на множестве научных семинаров, а также на всероссийских и международных конференциях. Основные результаты диссертации отражены в 6 опубликованных статьях в рецензируемых научных журналах, в частности, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Они, очевидно, найдут применение при описании безударных газодинамических явлений в трубопроводах, при проектировании сверхзвуковых сопел, а также для получения больших величин энергии при сжатии сферически симметричных полостей, в частности, кавитирующих пузырьков в современных задачах энергетики.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы и ее результаты. Материал изложен кратко и доступно, представленные графики поясняют математические расчеты и удачно дополняют текст. Работа выполнена на высоком научном уровне. Полученные результаты представляют теоретический и прикладной интерес, что подкрепляется наличием большого числа публикаций в высокорейтинговом издании «Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа».

У меня нет замечаний по математической части работы. Однако, к сожалению, в диссертации нередко присутствуют тяжеловесные и мало удобоваримые отдельные фразы, которые мало соотносятся с блестящей математикой.

Таким образом, на основании материала автореферата можно сделать вывод, что диссертация Д.В. Украинского является законченной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством, соответствует паспорту специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» и отвечает критериям, определенным пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова».

Уверен, что автор диссертации, Украинский Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Главный научный сотрудник отдела №16

Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

доктор физико-математических наук, профессор

А.В. Колесниченко



5. 12. 2022

Адрес электронной почты: kolesn@keldysh.ru, телефон: 

Место работы: Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

Почтовый адрес: Россия, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4.

Адрес официального сайта: <https://keldysh.ru>, [office@keldysh.ru](mailto:office@keldysh.ru)

Я, Колесниченко Александр Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Украинского Дмитрия Владимировича, и их дальнейшую обработку.

Специальность, по которой защищена диссертация:

01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Подпись А.В. Колесниченко заверяю.

Кандидат физико-математических наук, Ученый секретарь Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»



Давыдов Александр Александрович  
125047, Москва,  
Миусская пл., д. 4  
<https://keldysh.ru>  
тел.: +7 (499) 918-13-14  
[alexander.a.davydov@gmail.com](mailto:alexander.a.davydov@gmail.com)

5. 12. 2022