

Отзыв научного руководителя  
доктора физико-математических наук, профессора  
Голубятникова Александра Николаевича

на диссертационную работу Украинского Дмитрия Владимировича по теме «Аналитические решения уравнений газовой динамики, механика пузырька в неньютоновских жидкостях и кумуляция энергии», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

За время обучения в аспирантуре механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Украинским Д.В. разработан ряд новых подходов к построению точных аналитических решений задач газовой динамики и механики пузырька в неньютоновских вязких жидкостях, в том числе с наличием явления кумуляции (концентрации) энергии, представлена их вычислительная реализация.

В первой части диссертации развита теория построения точных решений начальных и краевых задач одномерной нестационарной газовой динамики с плоскими волнами при неоднородной энтропии в виде разложений по степеням произвольных лагранжевых координат или специальных функций от времени. Указанный подход представляет течение газа без явного наличия ударных волн в трубе, закрытой подвижными поршнями с обоих концов. Особое внимание уделено получению периодических по времени решений. Приводятся доказательства существования и глобальной аналитичности данных решений на основе метода Коши-Ковалевской и принципа мажорант. В рамках каждого подхода выведены рекуррентные соотношения, которые позволяют вычислять неизвестные коэффициенты рядов по начальным или краевым условиям. Для данной цели были составлены программы в математическом пакете, осуществляющие необходимые символьные преобразования. Таким способом в работе решены задачи о периодических колебаниях поршня без учета и с учетом силы тяжести газа, о согласованном движении газа и поршня при колебаниях температуры около внутренней стенки, где в частности также рассмотрен случай неподвижного тяжелого поршня, а также задача о сильном безударном сжатии газа. С помощью метода полугодиграфа подход к построению решений в степенных рядах обобщен на случай уравнения состояния газа произвольного вида.

Во второй части диссертации исследован вопрос о существовании трехволнового резонанса в стационарной сверхзвуковой задаче газовой динамики. Выведены и решены в эллиптических функциях амплитудно-фазовые уравнения, определены необходимые для взаимодействия мод граничные условия. Приведена картина течения в плоском сверхзвуковом сопле с криволинейными верхней и нижней стенками.

В третьей части диссертации рассматриваются задачи о сжатии пузырька. В частности, рассмотрена сферически-симметричная задача о динамике однородной газовой полости в несжимаемой вязкой степенной жидкости. Исследована проблема о сжатии вакуумной полости скачком внешнего давления, полностью изучен вопрос о концентрации энергии. Доказано, что для большей части дилатантных жидкостей концентрация энергии невозможна. Для остальных моделей построена поверхность зависимости значений концентрации энергии от показателя реологического закона и обезразмеренного коэффициента консистенции, указана критическая кривая, разделяющая области с концентрацией энергии и без нее. Наибольшей концентрацией энергии и наименьшей вязкой диссипацией обладают модели, близкие к предельной чисто пластической жидкости.

Дано точное решение с однородной деформацией о сжатии поршнем из состояния покоя в точку нелинейно-вязкой теплопроводной среды с уравнениями состояния совершенного газа. Разделение переменных в уравнении притока тепла приводит к

трехмерному уравнению Пуассона с постоянной правой частью для натурального логарифма плотности, что дает возможность рассмотрения произвольной системы пузырьков и струек внутри среды. При этом кинетическая энергия будет сохраняться, а для внутренней энергии удастся добиться неограниченного роста. Таким образом, величина концентрации энергии при фокусировке бесконечно велика. Подробно исследованы случаи полной сферической симметрии и реологическая модель степенной жидкости. Данные результаты применимы и в релятивистской газовой динамике.

Основные результаты диссертации представлены в 8 печатных работах, включая 6 статей в изданиях, индексируемых системами Web Of Science и/или Scopus. По материалам диссертации было сделано 6 докладов на профильных научных семинарах. Результаты диссертации были также апробированы на множестве международных и всероссийских конференций, конференциях-конкурсах:

- Конференция «Ломоносов-2016», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Конференция «Ломоносов-2017», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Международная конференция «Современные проблемы механики сплошной среды» (Л.И. Седов-110), МИАН имени В.А. Стеклова (2017).
- Конференция «Ломоносов-2018», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Всероссийская школа-семинар «Волновые явления в неоднородных средах» (Волны-2018), МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Всероссийская конференция молодых ученых-механиков «YSM-2018», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Конференция-конкурс молодых учёных НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова (2018).
- Конференция «Ломоносовские чтения-2019», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Международная конференция «Современные проблемы математики и механики» (В.А. Садовничий-80), МГУ имени М.В. Ломоносова (2019).
- Всероссийская конференция и школа для молодых ученых «Математические проблемы механики сплошных сред» (Л.В. Овсянников-100), Институт гидродинамики имени М.А. Лаврентьева СО РАН (2019).
- Международная конференция «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования» (СКТеММ-2019), МИАН имени В.А. Стеклова.
- Конференция-конкурс молодых учёных НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова (2020).
- Конференция «Ломоносовские чтения-2020», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Конференция «Ломоносов-2021», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Конференция «Ломоносовские чтения-2021», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Международная конференция и заседание Московского математического общества «Дифференциальные уравнения и смежные вопросы» (И.Г. Петровский-120), МГУ имени М.В. Ломоносова (2021).
- Конференция «Ломоносовские чтения-2022», МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Международная конференция «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования» (СКТеММ-2022), МИАН имени В.А. Стеклова.

Диссертационная работа «Аналитические решения уравнений газовой динамики, механика пузырька в неньютоновских жидкостях и кумуляция энергии» Украинского Дмитрия Владимировича выполнена на высоком научном уровне и носит завершённый характер. Она соответствует специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» и удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация «Аналитические решения уравнений газовой динамики, механика пузырька в неньютоновских жидкостях и

кумуляция энергии» Украинского Дмитрия Владимировича может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Я, Голубятников Александр Николаевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и на их дальнейшую обработку.

Научный руководитель: Голубятников Александр Николаевич  
доктор физико-математических наук  
(по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»),  
профессор кафедры гидромеханики  
механико-математического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
(119991, Москва, Ленинские горы, дом 1, телефон: +7 (495) 939-39-58,  
e-mail: golubiat@mail.ru)

*Голубятников*

А.Н. Голубятников

Подпись профессора А.Н. Голубятникова удостоверяю:  
декан механико-математического  
факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,  
член-корр. РАН, профессор



А.И. Шафаревич

« 12 » сентября 2022 г.