



«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор НИЯУ МИФИ

профессор М.Н.Стриханов

2015 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Национального исследовательского ядерного Университета «МИФИ» о диссертации Денисенко Владимира Викторовича на тему: «Прямое численное моделирование вихрей в потоках нормальной идеальной среды», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

### 1. Актуальность темы исследования

Исследование газодинамических течений на предмет устойчивости представляет большой интерес как в фундаментальной, так и в прикладной науке. Смену режимов течений наблюдают, как в технических устройствах (например, возвратные течения в трубах.), так и в повседневной жизни (турбулентные зоны в атмосфере, возникновение атмосферных вихрей и т.д.). В связи с этим возникает необходимость научиться предсказывать и управлять режимами различных газодинамических течений.

Из-за сложности уравнений, определяющих задачу, зачастую очень сложно теоретически исследовать течение, даже в линейном приближении. В этом случае на помощь приходят численные методы решения уравнений, описывающих ту или иную задачу. Вся сложность в этом случае переходит в плоскость постановки задачи, построения численных схем и разработки модели.

В этой связи актуальность и значимость выбранной В.В.Денисенко темы диссертационного исследования не вызывает сомнений.

### 2. Структура и содержание работы

Работа состоит из введения, трех глав и заключения. Цель диссертационного исследования, сформулированная во введении, состоит в постановке и решении задач, моделирующих три вида течений: 1) 2D-неустойчивости (двумерной неустойчивости) течения между цилиндрами, 2) 3D-устойчивости (трехмерной устойчивости) вихревого шара или кольца (тороидальном вихря), возникающего из простого течения с осевой симметрией и 3) аналогичной устойчивости вихря противотока,



устанавливаемого в роторе (цилиндре) центрифуги. Первая задача является обобщением задачи о плоскопараллельном течении Куэтта, которое является устойчивым. Вторая задача моделирует осесимметричное протекание в трубе, а результаты ее решения относятся к проблеме возникновения тороидальных вихрей. Третья задача моделирует газовую центрифугу для разделения изотопных смесей с целью исследовать возникновение и свойства противоточного течения, умножающего радиальный эффект разделения.

В первой главе описана постановка первых двух задач. Первая задача ставится как исследование устойчивости двумерного течения невязкой идеальной среды в зазоре между цилиндрами. Выбор невязкой модели исходит из принципов независимости характера крупных вихрей, возникающих в результате неустойчивости, от вязкости. А также из того, что переход ко вторичному режиму течения сопровождается возникновением данных вихрей.

Вторая задача ставится как исследование устойчивости осесимметричного протекания между цилиндрами. Данная постановка уже является трехмерной, но благодаря симметрии, численная схема сводится к двумерной.

Устойчивость течения обеих задач исследуется методом внесения возмущений (возмущения начальных условий) в исследуемое течение в начале расчетов. Таким образом, задача ставится как «начальные условия + возмущения».

Во второй главе описаны современные численные схемы, их достоинства и недостатки. Описаны численные методы решения задач, поставленных в первой главе. В частности, обе задачи решаются методом конечного объема второго порядка точности с использованием приближенного решения задачи Римана – методом Роу, при вычислении конвективных потоков на гранях расчетной сетки.

В третьей главе приведены результаты решения поставленных задач, также описана постановка, численный метод и результаты решения задачи о центрифуге. Показана неустойчивость течения Куэтта в криволинейном (цилиндрическом) канале. Исследованы условия образования тороидального и шарового вихрей. Исследованы условия образования противотока в газоразделительной центрифуге и его свойства.

### **3. Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научная новизна заключается в постановке рассмотренных задач и полученных результатах. Получена неустойчивость течения Куэтта в криволинейном (цилиндрическом) канале (плоскопараллельное течения



является устойчивым). Показаны условия возникновения шарового и тороидального вихрей. Исследованы условия возникновения противотока в газоразделительной центрифуге.

Достоверность результатов диссертационного исследования показана тестированием (валидацией) численных схем и программных кодов на решениях известных задач (распад разрыва и т.д.).

#### **4. Практическая ценность результатов**

Полученные результаты и программные коды могут быть использованы в астрофизике, теоретической газодинамике (в теории устойчивости), в исследовании режимов функционирования газоразделительных центрифуг. Также, результаты исследования осесимметричного протекания могут быть использованы для объяснения возникновения тороидальных вихрей.

Основные научные результаты достаточно полно и подробно отражены в автореферате и в 8 научных публикациях, 4 из которых являются рецензируемыми изданиями. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и внутривузовских конференциях.

#### **5. Недостатки в диссертации и автореферате**

Однако при общей положительной оценке диссертации следует отметить наличие в ней ряда спорных или недостаточно обоснованных положений, требующих разъяснений со стороны автора. Так в численных схемах при проведении операции реконструкции консервативного вектора автор использует ограничитель потоков Венкатакришнана, хотя можно было попробовать или хотя бы обсудить т.н.  $\min\text{mod}$  ограничитель.

#### **6. Соответствие содержания диссертации указанной специальности**

Диссертационная работа носит методологический и теоретический характер, в ней рассматриваются проблемы, находящиеся в предметной области вычислительной гидродинамики. Ее цель заключается в разработке моделей гидродинамических течений – постановке задач и методов решения поставленных задач. Объектом исследования являются течения, представляющие общенаучный интерес. Предметом исследования является изучение режимов данных течений.

Таким образом, диссертационная работа соответствует специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы» Паспорта специальностей ВАК (физико-математические науки).



## **7. Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации**

Важнейшие положения диссертационной работы достаточно полно и подробно отражены в автореферате. Раздел автореферата «Общая характеристика работы» исчерпывающе раскрывает важнейшие положения введения диссертации, такие как актуальность темы, ее разработанность, новизна, предмет и объект исследования и другие. В разделе «Основное содержание работы» четко отражаются логика и важнейшие идеи трех глав диссертации, а также заключения, в котором подробно отражены полученные автором научные результаты.

## **8. Значимость результатов для науки**

Полученные В.В.Денисенко научные результаты имеют общенаучное и прикладное значения. Автор показал наличие параметра устойчивости в двумерном течении Куэтта – радиус кривизны канала. Им сформулированы условия возникновения тороидальных вихрей. Предложена одна из моделей течения в газовой центрифуге.

Данные результаты могут найти использование как в прикладной гидродинамике, так и в теории гидродинамической науки.

## **9. Заключение о соответствии работы требованиям ВАК**

В целом диссертация В.В.Денисенко носит заверченный характер. Она посвящена актуальной проблеме и свидетельствует о глубоких теоретических знаниях соискателя, о его умении самостоятельно ставить научно-практические задачи, а также конструктивно и творчески подходить к их решению. Диссертационная работа представляет собой серьезное самостоятельное научное исследование, имеющее теоретическое и практическое значение.

Работа выполнена на высоком уровне с использованием широкого круга научных источников и большого объема фактического материала. Вопросы, отраженные в задачах исследования, решены. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы. В работе приведены результаты, позволяющие квалифицировать их как новые, научно-практические разработки. Полученные автором выводы достоверны. Автореферат отражает основные положения диссертационной работы, изложен последовательно и логично и не содержит отсутствующих в тексте работы положений.

Диссертация «Прямое численное моделирование вихрей в потоках нормальной идеальной среды» представляет собой заверченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, соответствует требованиям ВАК при Минобрнауки России, а ее автор, Денисенко Владимир Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-



математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры Молекулярной физики, протокол №9 от 15 сентября 2015 г.

Отзыв подготовил

д.ф.м.н., профессор кафедры Молекулярной физики НИЯУ МИФИ Валентин Дмитриевич Д.Борисевич. Рабочий телефон 8 (495) 788-56-99, доб. 9276. Эл. почта [VDBorisevich@mephi.ru](mailto:VDBorisevich@mephi.ru). Почтовый адрес: Москва 115409, Каширское шоссе, д.31.

Председатель Совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ,  
д.ф.-м.н., профессор

Н.А.Кудряшов