

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Крюкова Юрия Александровича «Разработка методов математического моделирования ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости в слое с межфазной границей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Крюкова Ю.А. посвящена разработке методов математического моделирования ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости для решения задач с межфазной границей и проведению вычислительных экспериментов для исследования характеристик течений. Математическое моделирование физических процессов, связанных с исследованием поведения межфазной границы, к настоящему времени доступно в современных комплексах программ, в которых реализованы эффективные численные методы решения таких задач (например, метод Volume of Fluid, реализованный в Ansys Fluent или Логос). Поскольку для моделирования ламинарных течений в пакетах реализовано численное решение уравнений Навье-Стокса, то в моделировании учитываются все физические свойства течений, описываемые этими уравнениями. Однако расчеты по полной системе уравнений требуют значительных затрат как машинного так и календарного времени. Для проведения оптимизационных расчетов необходимы более экономичные алгоритмы. Кроме того важным моментом является проверка на адекватность полученных результатов. Известно, что эффективным средством проверки решения новых задач (при отсутствии данных эксперимента) является сравнение с результатами, полученными по упрощенным моделям (например, по таким, в которых учитываются только существенные для задачи процессы, а исходные уравнения Навье-Стокса, как следствие, упрощаются). Таким образом, развитие приближенных методов (основанных на модифицированных уравнениях Навье-Стокса) решения задач, как аналитических, так и численных, является актуальным направлением в математическом моделировании. В работе автора для исследования практически важных задач авиационно-космической техники использованы преимущества разных методов моделирования (как основанных на

решении полной системы уравнений Навье-Стокса, так и построенных на упрощенных (модифицированных) уравнениях Навье-Стокса). Это позволило, с одной стороны, углубить анализ полученных результатов и обеспечить их надежность, а с другой – считать тематику диссертационной работы Крюкова Ю.А. актуальной, имеющей прикладные перспективы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 143 страницы машинописного текста, 39 рисунков и одну таблицу. Список использованных источников содержит 166 цитируемых наименований из них 14 работ, выполненных при участии автора, в том числе 4 опубликованных в изданиях рекомендованных ВАК РФ. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Во Введении сформулированы основные цели и задачи работы, обоснована их актуальность, приведены научная новизна и практическая ценность исследований, отмечено конкретное личное участие автора в получении результатов, сформулированы шесть положений, выносимых на защиту.

Первая глава посвящена аналитическому обзору научной литературы по выбранному направлению исследований. Диссертант достаточно подробно проводит классификацию характеристик методов решения задач о течениях в замкнутых полостях, частично или полностью заполненных жидкостью. Им выполнен анализ статей, посвященных течениям в тонких слоях, довольно подробно рассмотрены известные на сегодняшний день силы, действующие на отдельные сферические частицы, находящиеся в однофазных потоках. На основе приведенного в диссертации анализа диссертант формулирует цели и задачи своего исследования.

Вторая глава посвящена разработке методов математического моделирования для изучения процесса опорожнения топливного бака ракеты-носителя, при котором измеряемый в уровнемере уровень свободной поверхности жидкости отличается от реального уровня в баке. На основе модифицированных уравнений Навье-Стокса, описывающих течение вязкой несжимаемой жидкости в круглой цилиндрической трубе (в уровнемере) и учитывающих динамический процесс, происходящий в сообщающемся с ним баке при его опорожнении, построены методы математического моделирования (названные автором как

базовый и приближенный), позволяющие прогнозировать уровень свободной поверхности в уровнемере относительно уровня в баке. Приближенный метод основан на математической модели в, так называемой, квазистационарной постановке, когда напряжение трения на твердых границах приближенно заменяется значениями, полученными при стационарном процессе. Как следствие, математическую модель можно представить в виде обыкновенного дифференциального уравнения, что и было сделано автором. Базовый метод основан на решении дифференциальных уравнений в частных производных, учитывающих нестационарность процесса. Полученные автором результаты по предложенным методам (затухающие колебания уровня свободной поверхности в уровнемере относительно уровня в баке, происходящие по причине инерционности жидкости в уровнемере) подтверждаются хорошим согласованием результатов, выполненных автором по методу, реализованному в программном комплексе Ansys Fluent. Результаты второй главы обосновывают первое положение, выносимое на защиту.

В третьей главе автором разработан метод математического моделирования двухсредного неперемешивающегося ламинарного пограничного слоя на плоской полубесконечной пластине, который может быть использован, например, для оценки напряжения трения на плоских элементах летательного аппарата в случае появления на них жидкой пленки (атмосферной влаги). Метод построен на последовательных решениях-приближениях внутренней и внешней задач, записанных в рамках теории стационарного пограничного слоя. Для решения внутренней задачи развит асимптотический метод разложения решения в ряд по малому параметру, компоненты которого определены автором с учетом нулевого и первого приближений. Решение внешней задачи выполнено автором численно. Для численного решения задачи внешнего пограничного слоя диссертант использует особый подход: преобразование расчетной области из криволинейной в прямоугольную и дополнение постановки задачи линейно-независимым интегральным уравнением для определения толщины пограничного слоя, которое получается интегрированием уравнения движения, с учетом введенного автором дополнительно условия плавности. Таким образом, задача внешнего пограничного слоя, первоначально записанная как система двух уравнений в частных

производных, преобразована к системе из трех интегро-дифференциальных уравнений, для решения которой автор развел метод конечных разностей с применением метода линеаризации. Разработанный таким образом метод математического моделирования двухсредного пограничного слоя, позволяющий определять его характеристики в зависимости от чисел Рейнольдса, внутреннего и внешнего пограничных слоев и угла наклона плоской полубесконечной пластины (тем самым отличающий его от известных методов), несомненно обладает элементом новизны. Логичным окончанием третьей главы является описание разработанной автором (на основе предложенного им метода и алгоритма решения) программы "Lambola plate wilif", реализованной в среде Maple. С помощью созданной автором программы им проведен вычислительный эксперимент по определению характеристик двухсредного пограничного слоя (достаточно хорошо подтвержденный результатами, полученными в программе Ansys Fluent) и его анализ. Результаты, представленные в этой главе, обосновывают со второго по шестое положения, выносимые на защиту.

В четвертой главе диссертантом выполнено математическое моделирование движения твердой сферической частицы в односредном пограничном слое: на основе заранее определенных активно действующих сил на частицу (Сэфмана, аэродинамического сопротивления, тяжести и инерции) записано уравнение движения её центра масс с начальными условиями, учитывающими стартовую точку её движения в пограничном слое и скорость падения. Поставленная таким образом краевая задача проинтегрирована методом Рунге-Кутта в пакете Maple. Проверка результатов моделирования движения сферической частицы в пограничном слое, выполненная по описанному выше методу, проведена диссертантом посредством сравнения с результатами, полученными им по методу, реализованному в Ansys Fluent и основанному на интегрировании уравнений Навье-Стокса с использованием динамически-перестраивающихся сеток и метода VOF. Движение частицы в таком случае происходит под действием заранее неизвестных, определяемых по ходу движения частицы, сил. Здесь, на мой взгляд, новизной обладают результаты моделирования, полученные диссертантом в пакете Ansys Fluent (в предложенной им постановке задача решена, по-видимому, впервые).

В Заключении сформулированы результаты работы и основные выводы.

Все исследования, являющиеся основой диссертации, выполнены при непосредственном участии диссертанта, личный вклад которого не вызывает сомнения.

Отметим основные научные результаты полученные диссидентом:

- Разработан метод математического моделирования неустановившегося и квазистационарного течения в цилиндрическом канале с расходом массы с целью управления расходом топлива в баке ракеты-носителя.
- Разработан метод математического моделирования двухсреднего неперемешивающегося пограничного слоя со скользящей межфазной границей.
- Проведена модификация алгоритма разностного решения квазилинейного одномерного уравнения диффузионного типа с целью определения функции источника.
- Создана методика для определения толщины пограничного слоя.
- Создана программа “Lambola plate wilif” по определению характеристик двухсредного пограничного слоя.

Практической значимостью работы является разработка оригинальных алгоритмов моделирования ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости в слое с межфазной границей и создание программы “Lambola plate wilif” для решения актуальных задач космической техники.

Серьезных замечаний по материалам, представленным в содержательных главах диссертации, нет. Тем не менее, диссертационная работа не лишена ряда недостатков. Поскольку оппонент занимается схожими вопросами, то не может не высказать несколько замечаний по поводу положений выносимых на защиту, которые не являются бесспорными и по ряду схожих вопросов у нас постоянно происходят дискуссии.

1. Последнее положение звучит так: “Разработанная программа”. По субъективному мнению оппонента, должна выноситься на защиту непосредственно программа. Слово «разработанная» здесь совершенно излишнее. Отмечу, что в автореферате написано правильно.
2. Основным направлением работы диссидентата является создание программного инструментария и применение его для решения практически

важных задач. Примеры решения практических задач приводятся во второй, третьей и четвертой главе, однако положения по результатам этих исследований не выносятся на защиту. Мне кажется, это существенное упущение диссертанта.

3. Выполненные исследования, по мнению оппонента, удовлетворяют всем требованиям к кандидатским диссертациям физико-математических наук, что кажется более престижным.

Отмеченные недостатки не умаляют достоинства проделанной работы. Автором в полной мере продемонстрирована высокая квалификация по избранной специальности, а представленный ряд успешно решенных им задач позволяет считать, что высказанные замечания не являются решающими. В целом работа заслуживает высокой оценки.

Содержание основных разделов диссертации изложено в опубликованных работах автора. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Диссертация соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Крюков Юрий Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник
доктор физико-математических наук



Ю.Н. Дерюгин

Подпись Ю.Н. Дерюгина заверяю,
ученый секретарь ФГУП-“РФЯЦ-ВНИИЭФ”
кандидат физико-математических наук

В.В. Хижняков



607188, г. Саров, Нижегородской обл., пр. Мира, 37
Телефон 8 (83130) 2-90-29, факс 8(83130) 4-47-61
E-mail: deryugin@vniief.ru