



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(УлГТУ)

Северный Венец ул., д.32,
г. Ульяновск, 432027, Россия

Тел.: (8422) 43-06-43; факс (8422) 43-02-37
e-mail: rector@ulstu.ru <http://www.ulstu.ru>

ОКПО 02069378, ОГРН 1027301160226

ИНН/КПП 7325000052/ КПП 732501001

17.05.2018 № 444/21-03

На _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор по
научной работе Ульяновского
государственного технического
университета, д.т.н., профессор

Н.Г. Ярушкина

« 17 » 05 2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Крюкова Юрия Александровича «Разработка методов математического моделирования ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости в слое с межфазной границей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

1. Структура и объем диссертационной работы. Диссертация

Крюкова Ю.А. «Разработка методов математического моделирования ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости в слое с межфазной границей» посвящена построению авторских методов математического моделирования таких течений, а также математическому моделированию течений в современном пакете Ansys Fluent с помощью разработанных автором подходов. Содержание диссертации включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы из 166 наименований и 7 приложений (коды разработанных программ, акты о внедрении, свидетельство о регистрации). Текст диссертации представлен на 143 страницах, в нем имеется 39 рисунков и

1 таблица. По объему и структуре работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней».

2. Актуальность темы диссертации. В первой части диссертационной работы на основе разработанных соискателем методов математического моделирования проводится теоретическое исследование процесса контроля расходования топлива в баке ракеты-носителя, который напрямую влияет на достоверное определение уровня топлива в баках и от которого зависит синхронное опорожнение баков и гарантированные остатки. В реальных условиях этот динамический процесс является сложным, поскольку зависит от множества факторов: вынужденного движения жидкости в баках, каналах и трубопроводах, деформации зеркала свободной поверхности жидкости, образования стока и водоворота при заборе топлива, сложной внутренней геометрии баков, вибрации конструкции и пр. Поэтому развитие методов моделирования таких процессов для все более усложняющейся в современных условиях техники является важной и актуальной задачей.

Вторая часть диссертационной работы связана с исследованием двухсредного пограничного слоя и движения частиц в односредном пограничном слое на плоской поверхности. Эти задачи являются актуальными скорее для малых летательных аппаратов или для исследования аэродинамических характеристик плоских и хорошо обтекаемых элементов конструкции летательного аппарата при их движении в условиях повышенной влажности, выпадения дождевых осадков, запыленной атмосферы и т.д. Показательно, что наличие тонкого слоя жидкости на обтекаемой поверхности может являться причиной снижения сопротивления трения. Следовательно, исследования автора диссертации отчасти лежат в плоскости методов управления пограничным слоем и, бесспорно, имеют в этой части определенную новизну и актуальность.

3. Новизна проведенных исследований и полученных результатов.

Определенно нужно отметить, что в диссертационной работе Крюкову Ю.А. удалось построить новые методы математического моделирования:

- процесса рассогласования уровня свободных поверхностей в уровнемере и в сообщающемся с ним баке ракеты-носителя. Математическая модель процесса отличается от известных введенной в неё функцией источника нелинейного вида (в отличии от известных моделей, функция источника заранее не задана, а определяется по ходу численного решения задачи) и позволяет учесть влияющее на рассогласование уровней поле скорости в баке;
- двухсредного пограничного слоя. Отличие заключается в введении в математическую модель внешнего пограничного слоя (для газовой фазы) третьего уравнения, позволяющего явно вычислить верхнюю границу этого слоя (в отличии от известных методов, в которых верхняя граница определяется на каждом маршевом шаге итерационным методом).

Перечисленные новые методы моделирования физических процессов, означающие, в математическом смысле, постановку новых краевых задач, сподвигли автора к поиску их численного или аналитического приближенного решения, в которых элементом новизны можно считать следующее:

- новая конечно-разностная схема и алгоритм её решения для системы трех интегро-дифференциальных уравнений, являющаяся модификацией соответственно неявной схемы и алгоритма решения (использующего метод линеаризации «запаздывающих коэффициентов») для системы двух дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих пограничный слой;
- итерационный метод решения интегро-дифференциального уравнения параболического типа, использующегося в работе для моделирования динамического процесса рассогласования уровней свободных поверхностей в уровнемере и баке ракеты-носителя;

- развитие приближенного аналитического метода разложения в ряд по малому параметру для задачи внутреннего пограничного слоя, в котором учитывается переменная по длине пластины функция напряжения трения.

Заслугой автора является то, что все разработанные в диссертации методы математического моделирования, алгоритмы численного решения им реализованы в среде Maple в виде соответствующих программ (коды приведены в приложении к диссертации), которые позволяют проводить вычислительный эксперимент над рассматриваемыми процессами, и осуществлять его быстрее, как минимум на порядок, чем вычислительный эксперимент в пакете Ansys Fluent.

4. Обоснованность и достоверность полученных научных результатов. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в диссертации, а также их достоверность, подтверждается корректным использованием математического аппарата, хорошим согласованием при сравнении численных решений по методам, предложенным автором, с решениями, полученными им по альтернативным методам в пакете Ansys Fluent, а также с классическим решением краевой задачи Блазиуса в частном случае.

5. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и для практики.

Значимость результатов для науки:

- разработана новая математическая модель, описывающая динамику вязкой несжимаемой жидкости в слое с межфазной границей в двусвязной полости;
- разработан новый численный метод решения уравнений пограничного слоя (среда –газ), который позволяет получать значения верхней неизвестной границы из решения отдельного уравнения;

- разработана методика построения приближенного аналитического решения на основе метода разложения решения в ряд по малому параметру для исследования характеристик пограничного слоя тяжелой жидкости.

Значимость результатов для практики:

- разработанные автором программы посредством вычислительного эксперимента позволяют производить анализ характеристик явлений (получено одно свидетельство о регистрации программного комплекса);
- реализованные автором в пакете Ansys Fluent методики моделирования рассматриваемых течений могут быть использованы при моделировании подобных течений и в других аналогичных комплексах программ;
- разработанные в диссертации методы математического моделирования частично внедрены в работу профильных отделов АО «РКЦ «Прогресс» (г.Самара);
- результаты диссертационной работы частично внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева» (г.Самара).

6. **Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 14 печатных работах, из них 4 опубликованы в журналах из списка ВАК, 2 – индексированы Scopus. Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на различных Международных и Всероссийских семинарах и конференциях. Положительным моментом является наличие свидетельства о регистрации программного комплекса. Исходя из вышеизложенного, считаем, что диссертационная работа в достаточной мере апробирована.

В целом отметим, что в диссертационной работе наблюдается соответствие поставленных в ней целей полученным результатам. Диссертация и автореферат написаны ясным и понятным научным языком. Содержание диссертации достаточно полно и подробно раскрывает постановку, методы и результаты решения рассмотренных задач. Автореферат, в целом, отражает

содержание диссертации. Оформление диссертации и автореферата соответствует существующим требованиям.

7. Предложения по использованию результатов диссертации.

Развитые в работе теоретические положения и методы решения могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательской работе в высших учебных заведениях, академических и отраслевых институтах, работающих по соответствующей тематике, в частности ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (г.Ульяновск), ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (г.Самара), ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королева» (г.Самара), ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет» (г.Саратов), ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г.Пермь) и других академических институтах и университетах.

Кроме вышеизложенного, полученные в диссертации результаты могут быть рекомендованы для использования в учебном процессе на механико-математических и физических факультетах университетов при чтении лекций, в курсовом и дипломном проектировании.

8. Замечания по содержанию и оформлению работы. Недостатков, ставящих под сомнение справедливость какого-либо результата, в диссертации не обнаружено. Тем не менее отметим некоторые.

1. Известно, что для одномерного уравнения параболического типа с постоянными коэффициентами (2.1) существует разностная схема повышенного порядка аппроксимации ($O(h_t^2 + h_r^4)$). Непонятно, почему в диссертации не используется (не оговаривается) эта схема?

2. Автор не добавил в постановку задачи, рассмотренной во второй главе, деформацию зеркала свободной поверхности в баке или вибрацию обечаек бака и самого уровнемера, которые присутствуют при реальных

условиях полета ракеты-носителя? Вообще говоря, эти процессы должны вносить свой вклад в рассогласование уровней свободной поверхности. Каков этот вклад?

3. В задаче о движении сферической частицы в пограничном слое в начальный момент времени, когда частице присваивается скорость её свободного падения и она помещается в невозмущенный пограничный слой Блазиуса, должны играть определенную роль нестационарные силы (присоединенной массы, Бассе). Однако они не учитываются при моделировании.

4. Для численного решения задачи внешнего пограничного слоя используется схема со сравнительно низким порядком аппроксимации (по маршевой координате с первым, а по поперечной – со вторым). Чем обусловлен выбор автора такой схемы?

5. В некоторых выражениях диссертации дробная часть числа отделяется от целой точкой, а не запятой, как принято. Например, на стр. 44,52,53,84,85,87,89.

6. В третьей главе описание экспериментального исследования разностной схемы логичнее помещать после описания итерационного метода её решения, а не наоборот, как есть в диссертации.

9. Заключение по диссертационной работе.

Выявленные недостатки частного характера не уменьшают научную и практическую значимость обозначенных в диссертации результатов. В основном работа выполнена на достаточно высоком научном уровне. Полученные автором результаты исследований подтверждают обоснованность сформулированных им выводов, положений и рекомендаций. Основные результаты диссертации в полном объеме освещены в публикациях соискателя. В этой связи считаем, что диссертационная работа Крюкова Ю.А. «Разработка методов математического моделирования ламинарных течений вязкой несжимаемой жидкости в слое с межфазной границей» имеет важное научное и

прикладное значение, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а её автор – Крюков Юрий Александрович – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск, 17.05.2018 г., протокол №10.

Отзыв подготовлен:

Заведующий кафедрой «Высшая математика»

ФГБОУ ВО «УлГТУ», д.ф.-м.н., профессор

Вельмисов Петр

Александрович

Заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика»

ФГБОУ ВО «УлГТУ», д.т.н., профессор

Крашенинников Виктор

Ростиславович

Подписи П.А. Вельмисова, В.Р. Крашенинникова заверяю

ученый секретарь ФГБОУ ВО

«Ульяновский государственный

технический университет»



Арефьев В.Н.

Полное название организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»

Адрес: 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный венец, 32.

Тел.:(8422)431045; e-mail:velmisov@ulstu.ru