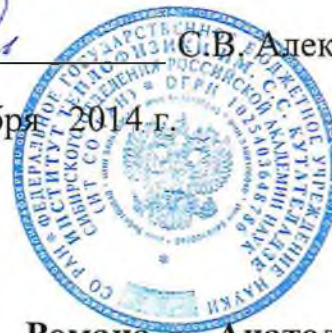


«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института теплофизики
им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
д. ф.-м. н., чл.-корр. РАН


С.В. Алексеенко

« 19 » ноября 2014 г.



ОТЗЫВ

на диссертационную работу **Альгинова Романа Анатольевича** «**Численное моделирование закономерностей течения вязких сред в трубопроводах с соединениями сложной формы**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы

В настоящее время одной из актуальных проблем моделирования сложных сдвиговых потоков и их приложений к техническим устройствам различного назначения является отсутствие универсального подхода к описанию деталей и особенностей процессов турбулентного переноса, сопровождающих работу транспортных систем при интенсивных тепловых и динамических нагрузках на элементы соединительных устройств различной геометрии. Работа систем в условиях устойчивых и переходных процессов и отсутствие данных об изменениях локальных параметров и механизмах переноса в энергонапряженных зонах соединений, повышает риски использования простых полуэмпирических методик при прогнозе аварийных режимов функционирования оборудования и требует детального проникновения в суть процессов слияния (разделения), отрыва (присоединения) потоков, что не позволяет провести обобщения методик при наличии осложняющих факторов (неизотермичности, ламинаризации и т. п.).

Ценность исследований течений в замкнутых системах (каналах, трубопроводах, устройствах различной степени сложности) с привлечением

современных подходов и гибких моделей весьма высока как с прикладной, так и фундаментальной точек зрения. Инженерная практика требует полных представлений о структуре сложных течений, адекватности ее описания в условиях перераспределения в зонах ветвления. В связи с вышесказанным, диссертационная работа Р.А. Альгинова «Численное моделирование закономерностей течения вязких сред в трубопроводах с соединениями сложной формы», посвященная исследованию деталей течений, выявлению особенностей и закономерностей транспортировки вязких сред через узлы и соединения трубопроводов различной геометрии, сопровождаемых ламинаризацией ускоряющегося / нагреваемого потока (или его обратной турбулизации), разделением течений в патрубках Т-образной формы весьма актуальна. Численное моделирование выполнено для достаточно широкого диапазона изменений определяющих параметров течения и теплообмена с привлечением популярного в приложениях RANS метода и отдельных (пока редко используемых в классе указанных течений) двухпараметрических динамических моделей турбулентности типа k-L, k-w, расширяющих представления об особенностях изменений пульсационной структуры, механизмах переноса в зонах слияния (разделения), а также отрыва и присоединения потока.

Структура диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список библиографических источников из 121 наименований. Текст содержит 121 страницу, 47 рисунков и 5 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность и практическая значимость выполненной работы, сформулированы цели исследования, отмечаются новые результаты, полученные автором.

В **первой главе** диссертации представлена постановка задачи, результаты теоретического обзора классических и современных отечественных и зарубежных исследований по проблематике моделирования сложных турбулентных течений. Анализируются достоинства различных классов моделей турбулентности, делаются выводы о применимости двухпараметрических статистических моделей турбулентности для описания течений с умеренной

анизотропией потока. В целом автор продемонстрировал глубокое знание проблемы. В главе проанализированы ключевые работы в данной области и имеющиеся «белые пятна» в изучаемой проблеме.

Вторая глава посвящена разработке численного алгоритма расчета турбулентных течений, осложненных теплообменом, в осесимметричном приближении. В алгоритме реализован учет произвольной кривизны стенки канала, являющийся нетривиальной задачей и позволивший провести исследование процессов ускорения потока в конфузорных секциях.

В **третьей главе** рассмотрены обратные переходы турбулентных газовых течений при ускорении потока в конфузорных секциях, а также при подводе тепла к стенке трубопроводе. Отмечается эффективность $k-L$ модели для моделирования процессов перехода в более широком диапазоне значений потока по сравнению с ранее проведенными исследованиями в данной области (до $Re = 5 \cdot 10^5$ при углах наклона конфузорной секции $\text{tg}\beta \leq 0,05$).

В **четвертой главе** представлены результаты численного исследования процессов разделения потока в Т-образных соединениях трубопроводов при числах Рейнольдса $Re \leq 10^6$ для различных жидких сред. Первоначально рассмотрен вопрос корректности $k-\omega$ модели, приведены результаты анализа эффективности модели в описании разделяющихся течений, как по интегральным, так и локальным параметрам. К основным результатам данной части работы можно отнести следующие:

- получение пространственных распределений интегральных и пульсационных параметров разделяющихся потоков в трубопроводах;
- характеристику структуры перераспределяющегося потока и образующихся вихрей;
- выявление закономерностей течения в зоне скругления и указание на зависимость между параметром скругления «шейки» тройника и картиной перераспределения потока;
- детальный анализ механизмов переноса в особых зонах разделяющегося течения;

- формулирование практических рекомендаций по разработке оптимальной геометрии Т-образных соединений в трубопроводах сложной формы.

В заключении сформулированы основные результаты к числу, которых следует отнести следующие.

1. Разработку, тестирование модели и алгоритма расчета турбулентных неизотермических течений вязких слабосжимаемых сред в трубах с секциями сложной формы стенки;

2. Моделирование эффектов ламинаризации (и обратной турбулизации) потока при его ускорении, а также подводе тепла к стенке трубопровода.

3. Критические замечания об эффективности отдельных двухпараметрических моделей турбулентности к прогнозу реламинаризации в широком диапазоне параметров течений.

4. Впервые полученные карты распределений локальных и интегральных параметров турбулентного потока в областях слияния (разделения): узлах Т-образной формы. Обозначены зависимости процесса разделения потока от геометрии области разделения.

5. Впервые получены данные детального анализа вкладов различных механизмов процессов переноса импульса в условиях разделения потока в патрубках с соразмерным и неодинаковым выходным сечением.

6. Сформулированы практические рекомендации по оптимальной форме тройниковых соединений.

Корректность результатов и их достоверность подтверждаются сравнениями данных решений рассмотренных задач с имеющимися экспериментальными данными, непротиворечивостью и повторяемостью полученных результатов, сравнением с опытными данными других авторов по моделированию турбулентных процессов.

Практическая значимость. Результаты исследования имеют ценность для практики производства тройников и тройниковых соединений. Рекомендуются в практику прикладных расчетов гидродинамики и теплообмена во внутренних

системах с криволинейной границей области движения вязких сред, проектированию устройств, широко распространенных в различных отраслях промышленности (нефтегазовой, химической, теплоэнергетик, энергомашиностроении, ракетно-космической технике). Отмечается об использовании результатов исследования в академической и практической сфере. Представлены свидетельства о внедрении в образовательную деятельность Национального исследовательского Томского политехнического университета и предприятия нефтегазового сектора- ООО «ИТЦ», г. Томск.

В качестве **замечаний** стоит отметить следующее:

1. Не достаточно чётко изложены основные преимущества, которыми обладает решение автора для описанного класса течений. Следовало бы акцентировать внимание на тех особенностях в подходе математического моделирования, которые позволили разработать эффективную и универсальную численную методику для расчёта течений вязких сред в трубопроводах со сложной конфигурацией переходников, узлов слияния и разделения потоков, испытывающих на себе влияние переменности теплофизических свойств, неизотермичности, переходов вихревой природы.
2. Раздел «Валидация модели и верификация численного алгоритма ...», описанный во второй главе, является не полным. В нём представлены тестовые расчёты только для ламинарного течения. Наряду с этим, не представлена информация о расчётных сетках, т.е. данные о методе построения, размерах и параметрах сгущения.
3. Следует отметить недостаточно глубокую проработку состояния вопроса по третьей главе, посвящённой эффекту ламинаризации течения. В обзоре не рассматриваются классические работы по данной теме, вскрывающие механизмы исследуемого процесса, такие как: Леонтьев А.И., Шишов Е.В., Афанасьев В.Н., Заболоцкий В.П. Исследование пульсационной структуры теплового турбулентного пограничного слоя в условиях ламинаризации потока. В кн.: Теплообмен-У1: т.1, ч.2, Минск, 1980, с.136-146.

Репик Е.У. Исследование перехода турбулентного пограничного слоя в ламинарный при глубоких отрицательных градиентах давления / Е.У. Репик // Инженерно-физический журнал. 1973. Т.24. № 2. С. 276-281. Бэк Л.Г., Каффел Р.Ф., Массье П.Ф. Ламиниризация турбулентного пограничного слоя при течении в сопле, РТнК, 1969, N 7, 194-196.

4. Для результатов расчёта, представленных в третьей главе отсутствует постановка задачи: схема течения, геометрия расчётной области, граничные условия, а так же параметры течения: рассматриваемые числа Рейнольдса и углы наклона стенок конфузора. Всё это в совокупности затрудняет понимание данных, представленных на рисунках.
5. В четвёртой главе, следовало бы вынести отдельным разделом и более конкретно сформулировать рекомендации по выбору оптимальной формы тройниковых соединений с точки зрения их большей устойчивости к эрозии, коррозии и минимализации потерь на сопротивление.

Указанные замечания не умаляют достоинства выполненной работы и её научного содержания. Представленные результаты о структуре и закономерностях течений в Т-узлах обладают несомненной научной новизной и вносят заметный вклад в понимание и выяснение закономерностей ламинаризирующихся и разделяющихся турбулентных течений в особых зонах сложных трубопроводов.

Совокупность представленных в диссертации результатов можно квалифицировать как новое ¹важное достижение по решению проблемы моделирования турбулентных течений и теплообмена во внутренних системах с криволинейной поверхностью.

Материалы работы изложены в 45 публикациях, включая 6 работ, опубликованных в журналах из перечня ВАК. Результаты доложены на многочисленных международных, российских и региональных конференциях и форумах. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Несомненно, диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Полученные результаты имеют существенное значение для науки и практики инженерных приложений.

Диссертационная работа была заслушана на научном семинаре отдела термогазодинамики Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН с привлечением ведущих специалистов Института в области теоретических и экспериментальных исследований структуры течений жидкостей и газов (протокол № 92 от «6» ноября 2014 г.) и получила положительную оценку семинара. На основании решения семинара составлен положительный отзыв.

Считаем, что диссертационная работа Р.А. Альгинова «Численное моделирование закономерностей течения вязких сред в трубопроводах с соединениями сложной формы» отвечает требованиям Положения о порядке присуждения научным работникам ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Роман Анатольевич Альгинов – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор технических наук, профессор,
Заведующий отделом термогазодинамики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук
630090, Новосибирск, пр-кт Академика Лаврентьева, 1
+7 (383) 330-67-36
terekhov@itp.nsc.ru



Терехов Виктор Иванович

Кандидат технических наук,
Младший научный сотрудник отдела термогазодинамики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук
630090, Новосибирск, пр-кт Академика Лаврентьева, 1
+7 (383) 330-93-62
bogatkol@mail.ru



Богатко Татьяна Викторовна