

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора кафедры «Машины и аппараты производственных процессов» Пермского национального исследовательского политехнического университета Мошева Евгения Рудольфовича
на диссертационную работу Чионова Антона Михайловича
«Инструменты компьютерного моделирования термогидродинамических режимов потока в многослойно изолированных подводных газопроводах высокого давления»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

1. Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, пяти приложений и библиографического списка из 96 наименований. Работа изложена на 247 страницах машинописного текста, содержит 3 таблицы и 84 рисунка.

2. Актуальность темы диссертации

В последнее время Развитие газотранспортной отрасли России неразрывно связано со строительством и эксплуатацией морских магистральных газопроводов, таких как «Голубой поток», «Северный поток» и «Южный поток», назначением которых является обеспечение европейских и юго-западных потребителей природного газа. В условиях значительной протяженности и отсутствия компрессорных станций рабочее давление в указанных газопроводах достигает 30 МПа, что не позволяет использовать для расчёта параметров потока газа алгоритмы и методы, описанные в действующих Нормах технологического проектирования магистральных газопроводов (СТО Газпром 2-3.5-051-2006).

Использование для расчётов термогидродинамических режимов газопроводов коммерческих программных комплексов (ПК), например, таких как ПК «Simone» (разработчик SIMONE Research Group, s.r.o.), ПК «OLGA» (SPT Group, Норвегия) и другие, приведёт к удорожанию проекта.

Исходя из сказанного следует, что диссертационная работа соискателя, направленная на разработку термогидродинамических моделей газопроводов, алгоритмов и комплекса программ термогидродинамического расчёта подводных многослойно изолированных газопроводов высокого давления (30МПа и выше) с учётом теплообмена с окружающей средой, обладает не только несомненной практической и научной актуальностью, но и способствует решению такой важнейшей проблемы как импортозамещение.

Выполненное автором диссертационное исследование также соответствует части пунктов следующих документов:

– План фундаментальных научных исследований РАН до 2025 года: «3.1.4. Теплофизика и гидродинамика в процессах получения и переработки реологически сложных

материалов и сред (нефть, нефтепродукты, продукты нефтепереработки, кровь, лимфатические жидкости, спецвещества, порох и т.п.)».

– Перечень критических технологий: «20. технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи», «21. Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», определённых в Указе Президента РФ «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» от 7 июля 2011 года.

3. Общая характеристика работы

Во введении обоснована актуальность выполненных автором научных исследований. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Приведены научная новизна, научная и практическая значимость, методы решения поставленных задач, обоснованность и достоверность полученных в работе результатов. Показаны результаты практической реализации работы. Представленное соискателем обоснование актуальности темы и цели диссертационного исследования выполнено корректно и замечаний не вызывает.

Первая глава работы носит обзорный характер. В ней диссертант даёт характеристику имеющимся на сегодня моделям и методам описания однофазного потока газа или жидкости в трубопроводах, начиная с термодинамики многокомпонентных систем углеводородов и заканчивая описанием теплообмена трубопроводов с окружающей средой при различных способах прокладки. Здесь же дана оценка существующих программных комплексов для решения задач моделирования параметров потока в газопроводе. В конце главы приведена инженерно-технологическая постановка задачи анализа термогидродинамических режимов подводного газопровода высокого давления.

Вторая глава посвящена разработке математической модели и алгоритмов термогидродинамического расчёта многослойно изолированных подводных газопроводов высокого давления. Здесь автором предлагаются алгоритмы численного решения системы общих одномерных уравнений газовой динамики, описывающих параметры однофазного потока газа в линейной части газопровода, как при стационарных, так и при нестационарных граничных условиях в сопряжении с уравнением теплопроводности, описывающим теплообмен газового потока с окружающей средой. При этом следует отметить, что в процессе реализации указанных алгоритмов построение разностной схемы, аппроксимирующей исходные уравнения в частных производных, осуществляется с учётом корректности постановки граничных условий по температуре, что наделяет сформированный алгоритм нестационарного неизотермического расчёта параметров потока универсальностью и поз-

воляет использовать его во всех случаях направления течения газа в трубе (газ может втекать или вытекать на обоих концах трубопровода). Далее дан анализ полученных решений, на основании которого осуществляется построение упрощённой прикладной модели термогидродинамического расчёта многослойно изолированных подводных газопроводов высокого давления, позволяющей практически без потери точности существенно увеличить скорость вычислений.

В третьей главе приводится описание программных модулей (их назначения, возможностей и архитектуры), реализованных автором в процессе разработки компьютерной модели термогидродинамического расчёта многослойно изолированных подводных газопроводов высокого давления. Описаны архитектура и программно-информационное обеспечение комплекса программ термогидродинамического расчёта потока газа в подводном многослойно изолированном ГП высокого давления в приближении осевой симметрии поля температур. Даны режимы функционирования и методики применения комплекса программ для термогидродинамического расчёта потока газа в подводном многослойно изолированном ГП высокого давления в приближении осевой симметрии поля температур. Показаны результаты многочисленных вычислительных экспериментов по анализу сходимости разностных схем и точности численного решения.

В четвертой главе приведены результаты практического применения разработанных автором моделей и комплекса программ. Предложен алгоритм идентификации неизмеряемых параметров газопровода с целью адаптации разработанной модели однофазного потока газа к реальным объектам.

Приведены критерии адекватности и даны результаты оценки адекватности разработанной модели. Показаны результаты применения модели для расчёта параметров потока газа в существующем магистральном газопроводе высокого давления и приведено их сравнение с экспериментальными данными с привлечением статистического критерия согласия. Результаты сравнения расчётных и экспериментальных результатов показывают адекватность использования указанной модели для решения поставленной задачи. Далее описаны аспекты практического применения разработанной модели и комплекса программ для расчёта существующих промышленных газопроводов, проводится анализ влияния вариативности исходных данных, сравнение традиционных моделей газопроводов с моделями, предложенными автором.

В Заключении обобщены полученные в процессе диссертационного исследования научные и практические результаты.

В целом содержание автореферата соответствует содержанию диссертации, а их оформление – Национальному стандарту РФ ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и авторе-

ферат диссертации. Структура и правила оформления». М.: Стандартинформ, 2012, а также приказу Министерства образования и науки РФ от 9 декабря 2014 г. № 1560 «О внесении изменений в Положение о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утверждённое приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 13 января 2014 г. №7». В целом представленные материалы диссертационной работы позволяют достаточно полно оценить объём, сложность и актуальность проведённого исследования.

4. Научная новизна

Научная новизна полученных диссертантом результатов и их научная значимость заключаются в том, что впервые получены модели, алгоритмы и комплекс программ, позволяющие вести расчёт параметров газового потока, движущегося в современных магистральных морских газопроводах при высоких давлениях (до 36 МПа), с учётом нестационарных теплообменных процессов, протекающих в материале многослойно изолированной стенки трубопровода при неизотермическом неустановившемся режиме их работы, а именно:

– Разработана термогидродинамическая модель потока газа в подводном многослойно изолированном ГП высокого давления (до 36 МПа) в приближении осевой симметрии поля температур, отличающаяся комплексным учётом как гидродинамических процессов в трубе, так и тепловых явлений в стенке трубы, что позволяет увеличить точность термогидродинамического расчёта подводного ГП высокого давления.

– Разработана упрощённая термогидродинамическая модель потока газа в подводном многослойно изолированном ГП высокого давления (до 36 МПа), отличающаяся использованием упрощённого дифференциального уравнения, аппроксимирующего эффект тепловой инерции материалов стенки трубопровода при переходных режимах, что позволяет повысить точность и быстродействие термогидродинамических расчётов современных ГП высокого давления.

– Предложены быстродействующие алгоритмы решения дифференциальных уравнений газовой динамики и теплопроводности в длинном многослойном цилиндре с теплоизолированными торцами, отличающиеся преобразованием информационно-разреженной многомерной матрицы систем уравнений к упорядоченному блочно-ленточному стандартному виду, что позволяет сократить время расчётов, в сравнении с классическими итерационными алгоритмами.

– Разработан комплекс программ термогидродинамического расчёта потока газа в подводном многослойно изолированном ГП высокого давления в приближении осевой

симметрии поля температур, который успешно использован для решения ряда важных прикладных задач управления подводными ГП.

В диссертации представлены и другие научные положения, соответствующие критерию «научная новизна».

Адекватность применения сформированных в работе моделей и алгоритмов была подтверждена экспериментально полученными данными о неустановившихся режимам работы реальных современных магистральных газопроводов высокого давления.

5. Практическая значимость

Практическая значимость полученных автором моделей и методов заключается в том, что они позволяют повысить точность выполнения инженерно-технических расчётов различных режимов работы ГП высокого давления по сравнению с традиционными гидравлическими моделями, которые не учитывают нестационарные теплообменные процессы в массивной стенке трубопровода, а также – рассчитывать распределения параметров потока в современных газопроводах высокого давления, в том числе в случае неустановившихся режимов работы, характерных для возникновения нештатных ситуаций.

6. Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается тем, что созданные автором модели основываются на корректном применении методов математического анализа, математической физики и численных методов. А также результатами натурных экспериментов, которые свидетельствуют, что разработанные автором модели адекватны и в составе комплекса программ вместе с разработанными алгоритмами позволяют успешно решать поставленные автором задачи.

Все утверждения подтверждены ссылками на источники. Результаты экспериментов соответствуют излагаемой теории. Это дает основание считать полученные результаты достаточно обоснованными и достоверными.

7. Замечания по диссертационной работе

Из недостатков диссертационной работы можно отметить следующие:

1. В работе должным образом не приведены показатели сходимости используемых алгоритмов численного решения систем уравнений газовой динамики (число итераций, время расчёта и т.д.).

2. В задачах, связанных со значительными объемами вычислений, целесообразно использовать современные многоядерные компьютеры, если вычислительные алгоритмы могут быть распараллелены. Анализ возможности использования параллельных вычислений не приведен в работе.

3. Отсутствуют некоторые важные данные о газопроводах (длина, диаметр, давление и т.п.), на которых в работе проводилось сравнение расчетных и экспериментальных значений параметров потока газа, что затрудняет восприятие приведенных результатов.

Тем не менее, указанные замечания не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

8. Оценка содержания и авторского вклада. Соответствие работы паспорту специальности

Диссертация соответствует следующим пунктам области исследования специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки):

п.1: Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»;

п.3: Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий;

п.4: Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

Таким образом, в соответствии с требованиями формулы специальности в диссертации присутствуют оригинальные результаты одновременно из трёх областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ.

В целом, диссертационная работа производит хорошее впечатление и несмотря на большой объём и количество математических выкладок, достаточно легко воспринимается. Автором проведено серьезное исследование проблемы, рассмотрен широкий спектр разработанных подходов и корректно проанализированы их достоинства и недостатки. Автор грамотно подошел к построению своих собственных моделей, четко указал их ограничения, и на их основе разработал, а также успешно реализовал соответствующие алгоритмы.

9. Публикация основных результатов и характеристика источников

По теме диссертационного исследования опубликовано 12 научных трудов, в том числе 9 из них в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки РФ.

В диссертационной работе и автореферате содержатся необходимые обязательные ссылки на источник заимствования. Таким образом, работа в целом соответствует пункту 14 Положения о порядке присуждения учёных степеней.

10. Заключение

Представленная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные методы, имеющие существенное значение для развития газовой отрасли, так как способствуют решению важной и актуальной задачи, а именно – обеспечению экологической и промышленной безопасности трубопроводного транспорта природного газа. Диссертация написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Исходя из сказанного считаю, что диссертационная работа Чионова Антона Михайловича «Инструменты компьютерного моделирования термогидродинамических режимов потока в многослойно изолированных подводных газопроводах высокого давления», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук выполнена на высоком научном уровне, отвечает формуле и пунктам области исследования специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а также требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» (утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), а её автор Чионов Антон Михайлович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры МАПП ПНИПУ

Е.Р. Мошев

Адрес: 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29
Тел./факс кафедры: +7 (342) 239-16-27, мест. тел. 16-27
E-mail кафедры: mapp@pstu.ru

Подпись официального оппонента Е.Р. Мошева удостоверяю

09.12.16



секретарь ПНИПУ

В.И. Макаревич