«УТВЕРЖДАЮ» Проректор по научной

Р. А. Исмаков

2016 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации ФГБОУ ВО «Уфимский государственный пефтяной технический упиверситет» на диссертационную работу Чионова Антона Михайловича на тему «Инструменты компьютерного моделирования термогидродинамических режимов потока в многослойно изолированных подводных газопроводах высокого давления», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации

Диссертация направлена на разработку термогидродинамических моделей газопроводов, алгоритмов и комплекса программ термогидродинамического расчета подводных многослойно изолированных газопроводов высокого давления (30МПа и выше) с учетом теплообмена с окружающей средой.

Актуальность выбранной темы определяется следующим. К сложным современным газопроводам высокого давления предъявляются повышенные требования к безопасности и надежности их функционирования, для обеспечения которых необходимо постоянно осуществлять контроль параметров потока газа с целью выполнения соответствующих технологических и физических ограничений. Для подводных газопроводов высокого давления одними из основных ограничений является максимальное и минимальное давление в трубе, а также минимальная температура газа. Причем, так как газопровод находится под водой, ограничение по минимальному значению температуры газа обуславливается не только прочностными характеристиками трубы, но и температурой обмерзания, при которой на внешней поверхности газопровода могут образовываться наледи, что может привести к изменению механических нагрузок на трубопровод из-за движения грунта или изменения выталкивающей силы.

В условиях ограниченности экспериментальных данных о параметрах потока в газопроводе и его температурном режиме работы особую важность приобретает задача разработки адекватной математической модели газопровода. При выполнении инженерно-технических расчетов газопроводов традиционно используют нормативные документы, такие как «Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов», которые могут применяться для расчетов газопроводов с давлениями не выше 16 МПа.

В настоящее время для расчетов термогидродинамических режимов газопроводов применяют различные коммерческие программные комплексы (ПК), такие как ПК «Simone» (разработчик SIMONE Research Group, s.r.o.), ПК «OLGA» (SPT Group, Норвегия) и другие. Поставляемое производителем описание используемых в этих ПК математических моделей, как правило, носит общий характер и не содержит информации об особенностях программной реализации, которая скрыта от пользователя и защищена законодательно. При этом разработчики ПК не несут ответственности за результаты расчетов и их возможные последствия, при практическом использовании этих результатов. Так, например, для ПК «Simone» до недавнего времени ограничение на максимально возможное давление составляло 20 МПа, в то время как уже существуют газопроводы, такие как «Голубой поток», рабочее давление в которых поднимается значительно выше.

ПК «OLGA» использует общую одномерную систему уравнений газовой динамики. При этом, если в ПК «Simone» используются различные уравнения для расчета гидравлического сопротивления, то ПК «OLGA» использует только формулу Хааланда, не позволяя гибко изменять вид уравнения расчета гидравлического сопротивления. Как показали расчеты газопровода «Голубой поток», использование этой модели гидравлического сопротивления не позволяет моделировать как адекватно стационарные, так нестационарные гидродинамические режимы. Таким образом. как правило, имеющиеся коммерческие ПК не обладают необходимой гибкостью и открытостью используемых гидродинамических моделей газопроводов. В связи с этим паучная задача разработки оригинальной термогидродинамической модели и ПК приобретает дополнительную актуальность ускоренного ЯПД экономически важных проблем импортозамещения и обеспечения устойчивого развития экономики России.

Научная новизна

В диссертационной работе построена физико-математическая модель

однофазного потока газа в подводном многослойно изолированном газопроводе высокого давления (до 36 МПа) в приближении осевой симметрии поля температур, адекватность применения которой впервые была подтверждена на экспериментальных данных неустановившихся режимов работы существующих современных магистральных газопроводов высокого давления. В рамках формирования указанной модели в работе было проведено обоснование выбора расчета коэффициента гидравлического формулы сопротивления, применимость которого впервые была подтверждена на экспериментальных режимов работы существующих современных магистральных газопроводов высокого давления, проведено обоснование применения используемого уравнения состояния для расчета термобарических свойств природного газа в области высоких давлений. Так же в работе проанализированы результаты применения нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования теплового взаимодействия газопровода с окружающей средой в приближении осевой симметрии поля температур.

На основе анализа построенной в работе физико-математическая модели разработана упрощенная прикладная термогидродинамическая модель потока газа в подводном многослойно изолированном газопроводе высокого давления (до 36 МПа), отличающаяся использованием упрощенного дифференциального уравнения, аппроксимирующего эффект тепловой инерции материалов стенки трубопровода при переходных режимах, что позволяет повысить точность и быстродействие термогидродинамических расчетов современных газопроводов высокого давления при нестационарных режимах работы.

В целом, разработанные математическо-информационные модели и алгоритмы являются вкладом в развитие математического моделирования газовой динамики и моделирования газопроводов высокого давления.

Практическая значимость

Разработанная термогидродинамическая модель однофазного потока газа успешно использована для инженерно-технических расчетов различных режимов работы ГП высокого давления «Голубой поток» и «Северный поток».

Разработанная прикладная термогидродинамическая модель позволяет в режиме реального времени с повышенной точностью по сравнению с упрощенными инженерно-техническими линеаризованными гидродинамическими моделями рассчитывать с высокой точностью распределения параметров потока в современных газопроводов высокого давления, в том числе для неустановившихся режимов работы при возникновении нештатных ситуаций.

Разработанная модель может быть адаптирована к расчету реальных газопроводов и использована в существующих автоматизированных системах контроля и управления потоком газа для повышения безопасности транспорта газа по газопроводам высокого давления

Обоснованность положений и выводов диссертационной работы

Полученные результаты не находятся в противоречии с результатами работ отечественных и зарубежных ученых по тематике исследования. Обоснованность полученных в диссертационной работе положений и выводов подтверждается корректным применением апробированных научных положений и методов исследования в виде:

- функционального и математического моделирования;
- системного апализа;
- методов статистического анализа;
- принципов модульного и объектно-ориентированного программирования при разработке комплекса программ.

Достоверность полученных результатов и выводов, адекватность разработанных математических моделей и работоспособность созданных алгоритмов, подтверждается хорошим совпадением результатов многочисленных вычислительных и натурных экспериментов.

Апробация и публикация исследований

результаты работы докладывались обсуждались конференциях: Международная III научно-техническая конференция «Газотранспортные системы: настоящее и будущее» (GTS-2009)» - г. Москва, г; IV Международная научно-техническая конференция «Газотранспортные системы: настоящее и будущее», г. Москва, октябрь 2011 г; научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов среди научноисследовательских и просктных предприятий ОАО «Газпром» «Актуальные вопросы проектирования объектов добычи и транспорта газа», г. Нижний Новгород, Сентябрь 2013 г.; юбилейная десятая всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» (газ, нефть, энергетика), г. Москва, Октябрь 2013 г.; V научно-практическая конференция Международная молодежная технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» Москва, Ноябрь 2013 г.; международный семинар «Рассохинские чтения», г. Ухта, Февраль 2014 г.; всероссийский научный семинар с международным участием «Математические модели методы анализа 14 оптимального синтеза развивающихся

трубопроводных и гидравлических систем» г. Белокуриха, Сентябрь 2014 г.; 5 международной конференции-школы по химической технологии (ХТ-5-16), 16-20 мая 2016, Волгоград.

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.

Основные положения работы

В рамках разработки термогидродинамических моделей газопроводов, алгоритмов и комплекса программ термогидродинамического расчета подводных многослойно изолированных газопроводов высокого давления (30МПа и выще) с учетом теплообмена с окружающей средой рассматривается постановка, анализ и решение следующих задач:

- Разработка термогидродинамической модели однофазного потока в ГП высокого давления, включающая:
 - 1) Обоснование модели расчета термобарических свойств газа;
 - Обоснование выбора формулы расчета коэффициента гидравлического сопротивления;
 - Анализ процессов теплообмена потока газа в трубопроводе с окружающей средой;
 - Формирование математической постановки задачи в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных и системы начальных и граничных условий.
- 2. Алгоритм постросния решения полученной системы дифференциальных уравнений, включающий:
 - 1) Построение разностной схемы для уравнений газовой динамики;
 - 2) Построение разностной аппроксимации граничных условий;
 - 3) Алгоритм решения разностных уравнений газовой динамики;
 - Построение разностной схемы для уравнения теплопроводности в многослойной цилиндрической области;
 - Построение разностной аппроксимации граничных условий и алгоритм решения разностных уравнений теплопроводности
 - Алгоритм совместного решения системы уравнений газодинамики и теплопроводности.
- Разработка упрощенной термогидродинамической модели потока газа в многослойно изолированном подводном газопроводе высокого давления в приближении трехслойного изоляционного покрытия.

- Разработка методов идентификации и адаптации разработанной термогидродинамической модели.
- Оценка адекватности разработанной термогидродинамической модели однофазного потока в подводном газопроводе высокого давления

Несомненным достоинством работы является тщательная проработка деталей модели. В первую очередь это анализ и подбор параметров уравнения состояния реального газа и проработка области его применимости к условиям перекачки. Во-вторых, качественно выполнена оценка и учет шероховатости труб как основного фактора гидравлического сопротивления течению. Проведен учет турбулентности потока на основе эмпирических показателей Рейнольдса и Прандтля. На хорошем уровне выполнена постановка начальных и граничных условий для системы дифференциальных уравнений тепло и массопереноса и проведен анализ решений при различных граничных условиях.

Хочется отметить обстоятельный анализ сходимости алгоритмов разностных схем решения краевых задач, что показывает квалификацию соискателя в соответствии с паспортом специальности 05.13.18.

На хорошем методическом уровне выполнена проверка адекватности математической модели.

Все сказанное выше в совокупности делает разработанную соискателем математическую модель пригодной для практического использования.

Предложенные автором методы, модели и алгоритмы в рамках решения перечисленных задач нашли реальные применения в задачах моделирования параметров однофазного потока газа в газопроводах. Это подтверждается примерами практического использования результатов диссертационной работы.

Замечания

В целом диссертация оставляет положительное впечатление, тем не менее, к диссертации имеется ряд замечаний:

- 1. Имеется ряд замечаний по тексту диссертации стилистического характера. Такие термины как линейная модель окружающей среды, традиционная модель окружающей среды, температурный напор, набить газ в трубу, и др. являются профессиональными жаргонизмами.
- 2. Непонятно, по каким формальным признакам (уравнения, функции связи и др.) разработанная термогидродинамическая модель в отличие от аналогов, имеет область применимости для высоких давлений.
- 3. При построении численного решения системы уравнений газовой динамики автор успешно использует полностью неявную по времени разностную схему первого порядка, однако для решения задач газовой динамики существуют

неявные разностные схемы второго порядка точности, например схема Мак Кормака или схема Лакса — Вендроффа. Анализ эффективности выбранного метода по сравнению с другими в работе не представлен.

4. Одна из задач, поставленных в диссертации, именно возникновение намерзания на трубопроводе и возможная внутритрубная гидрагация рассмотрены не достаточно. О такой возможности можно судить, только анализируя представленные в диссертации профили температур для ряда режимов, на которых имеются участки отрицательных температур (по Цельсию). В обсуждении результатов расчетов анализ намерзания, а также рекомендации по их устранению не представлены.

Если такая задача поставлена на стадии проектирования трубопровода, то она должна быть четко поставлена как обеспечение необходимой теплоизоляции подводного участка газопровода, исключающего намерзание, и се решение связано с вариациями граничных условий для уравнения теплопроводности. На стадии эксплуатации газопровода возможное решение определяется выбором необходимых режимов перекачки и обеспечивается системой автоматического управления. Тогда остается открытым вопрое как интегрировать систему мониторинга *P-T* профиля участка газопровода на основе расчетов по математической модели в систему автоматического управления перекачки газа.

5. Как известно, технологические режимы перекачки газа на газопроводах определяющие объемы перекачки в зависимости от величин отбора газа потребителем, задаются в регламентирующих документах «Карты технологических режимов». На наш взгляд, было бы целесообразно провести расчеты участка газопровода с использованием разработанной модели, при всех допустимых режимах перекачки и с учетом предельных параметров теплопереноса (как предложено в диссертации), что позволит выявить возможные осложнения и дать рекомендации по их устранению.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК Минобразования России

Диссертация Антона Михайловича Чионова представляет самостоятельно проведенную автором научно-квалификационную работу на актуальную тему, результаты которой имеют как научную, так и практическую значимость. Автореферат диссертации отражает основное содержание исследования, его результаты выводы. Судя И по рецензируемому диссертационному исследованию, автор диссертации хорошо знает предмет исследования, владеет методами научного анализа, способен определять важные проблемы развития науки и находить пути и методы их решения.

Тематика диссертационной работы, ее цель и задачи, научная новизна, результаты и применяемые методы подтверждают соответствие диссертации специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в части:

- п.4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»;
- п.5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента»;
 - п.8 «Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования».

Диссертационное исследование Чионова А.М. отвечает критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями, утвержденными Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. №335), а ее автор Чионов Антон Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании кафедры математики ГОУ во «Уфимский государственный нефтяной технический университет» «22» декабря 2016 года, протокол № 4.

Заведующий кафедрой «Математика».

к.э.н., доцент

ДС — Н.Ю. Фаткуллин

Секретарь

С.Ш. Валиуллина

Личные подписи заверяю:

Начальник отдела по работе с персоналом

О.А. Дадаян