

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Г.Ф. Филаретова

на диссертацию Кохова Тимура Александровича

на тему: «Топологическо-эвристическо-вычислительные алгоритмы и комплекс программ оптимизации энергоресурсоэффективности трассировки систем обогрева сложных технологических трубопроводов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

### **1. Актуальность темы диссертации.**

Проектирование современных производственных объектов нефтегазохимического комплекса требует комплексного решения ряда взаимосвязанных задач. К такого рода задачам в первую очередь можно отнести развитие методов математического моделирования процессов теплообмена в сложных теплотехнических системах, таких, в частности, как технологические трубопроводы с обогревающими трубопроводами-спутниками, используемые при транспортировке на значительные расстояния веществ с заданной температурой или веществ, вязкость которых при остывании недопустимо возрастает. Второй важной задачей, тесно связанной с первой, является создание алгоритма и комплекса программ оптимальной энергоресурсоэффективной трассировки систем теплового обогрева с учетом математических моделей процессов теплообмена в сложных теплотехнических системах, а также инженерно-технологических, физико-химических и гидродинамических ограничений.

Успешное решение указанных задач позволит увеличить эффективность функционирования трубопроводных систем, существенно уменьшить материалоемкость трубопроводов за счет уменьшения объема изоляции, сократить энергозатраты на перекачку и обогрев технологических потоков, повысить надежность и технологическую безопасность химических производств.

Все это свидетельствует о несомненной актуальности тематики диссертационной работы.

### **2. Общая характеристика работы**

Во введении приведено обоснование актуальности выполненных автором научных исследований. Сформулированы цель и задачи диссертационной

работы, положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость результатов работы. Приведены данные о структуре и объеме диссертационной 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 существующим методам расчета теплогидродинамических процессов, оптимизации систем технологических трубопроводов, построения математических моделей теплообмена с окружающей средой в сложной теплотехнической системе технологического трубопровода, обсуждает современные методы и алгоритмы оптимальной трассировки сложных технологических трубопроводов и взаимосвязь процедуры трассировки сложных технологических трубопроводов с расчетами гидродинамических и тепловых процессов, рассматривает алгоритмы расчета и оптимизации теплоизоляционных конструкций сложных технологических трубопроводов.

**Вторая глава** посвящена разработке математических моделей процессов теплообмена и декомпозиционного топологическо-эвристического алгоритма оптимизации энергоресурсоэффективной трассировки систем теплового обогрева сложных технологических трубопроводов. В ней изложена методика разработки оригинальной аппроксимационной математической модели процесса теплообмена в теплотехнической системе из нескольких параллельных технологических трубопроводов в едином изоляционном кожухе с неподвижным изотермическим продуктом. Методом имитационного моделирования осуществлена проверка адекватности рассматриваемой аппроксимационной математической модели. Обоснована возможность применения существующей специализированной упрощенной математической модели для моделирования процесса теплообмена в системе теплового обогрева технологического трубопровода с движущимся изотермическим продуктом.

**В третьей главе** описаны архитектура, программно-информационное обеспечение и режимы функционирования комплекса программ оптимизации энергоресурсоэффективной трассировки систем теплового обогрева технологических трубопроводов, рассмотрено информационное обеспечение комплекса программ в виде базы продукционных правил, проведено сравнение аппроксимационного аналитического и численного решений для математических моделей процесса теплообмена в сложных теплотехнических

системах с неподвижным изотермическим продуктом, показавшее эффективность предложенного алгоритма теплогидродинамических расчетов.

**Четвертая глава** носит прикладной характер. Она посвящена решению проблемы автоматизированной разработки оптимальной энергоресурсоэффективной трассировки систем теплового обогрева сложных технологических трубопроводов на примере установки производства элементарной серы, описаны инженерно-технологическая постановка задачи проектирования и результаты ее решения.

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

Содержание автореферата соответствует диссертации, а оформление – Национальному стандарту РФ ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат 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.

### **3. Научная новизна**

Научная новизна полученных диссертантом результатов и их научная значимость заключаются в том, что:

- ✓ с системных позиций осуществлено развитие комплексного подхода к решению задачи оптимизации энергоресурсоэффективности трассировки систем обогрева сложных технологических трубопроводов;
- ✓ разработана оригинальная аппроксимационная математическая модель процесса теплообмена в сложной теплотехнической системе, состоящей из нескольких параллельных технологических трубопроводов в едином изоляционном кожухе с неподвижным (на период остановки продукта) изотермическим продуктом, позволяющая обеспечить высокую точность проектных инженерно-технических расчетов за счет учета влияния толщины и свойств материала стенки трубопровода на перепад температур по сечению трубопровода;

- ✓ сформирован набор эвристических правил, необходимых для решения неформализованной задачи энергоресурсоэффективной трассировки трубопроводов, учитывающих инженерно-технологические, физико-химические и гидродинамические ограничения при поиске рациональной трассировки систем теплового обогрева технологических трубопроводов;
- ✓ предложен и обоснован декомпозиционный топологическо-эвристический алгоритм оптимальной энергоресурсоэффективной трассировки систем теплового обогрева сложных технологических трубопроводов;
- ✓ разработан комплекс программных средств, предназначенных для оптимизации энергоресурсоэффективной трассировки систем теплового обогрева сложных технологических трубопроводов, доказавший свою работоспособность и эффективность при решении прикладных задач.

#### **4. Практическая значимость**

Практическая значимость полученных результатов диссертационного исследования заключается том, что автором разработан современный программный комплекс построения 3D модели трассировки обогревающих спутников систем обогрева сложных технологических трубопроводов, предназначенный для широкого круга решения задач проектирования, в том числе в рамках соответствующих автоматизированных систем. На разработанный программный продукт получено свидетельство о государственной регистрации. С использованием разработанных алгоритмов и комплекса программ получены оптимальные энергоресурсоэффективные трассы системы теплового обогрева сложных технологических трубопроводов шести установок производства элементарной серы, что подтверждено актом об использовании результатов диссертационной работы в АО «Гипрогазоочистка». Следует отметить, что все результаты могут быть использованы и для решения других аналогичных задач проектирования.

#### **5. Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается:

- корректным использованием апробированных научных положений и методов исследования, а также соответствующего математического аппарата;
- согласованностью новых результатов с известными теоретическими положениями и известными результатам других авторов;



- положительными результатами внедрения научных результатов, полученных диссертантом, при создании и практическом применении программного комплекса.

## **6. Замечания по диссертационной работе**

Положительно оценивая данную работу в целом, тем не менее, следует сделать ряд замечаний:

1. Не очень точным представляется название диссертационной работы. Понятие «эвристические вычислительные алгоритмы» известно и имеет четкое определение; дополнение «топологическо-» по сути указывает только класс задач, решаемых с помощью такого алгоритма, но никак не доопределяет исходное понятие. Далее: «трассировка», все-таки повидимому не «систем обогрева», а «сложных технологических трубопроводов» с системами обогрева. Здесь было бы уместно добавить: «на базе аппроксимационной математической модели процессов теплообмена».

2. Диссертантом доказано, что разработанная им аппроксимационная математическая модель процесса теплообмена по точности получаемых с ее помощью результатов не уступает традиционному подходу на основе численного моделирования температурных полей на стационарных моделях теплопередачи методом конечных элементов – в частности, с помощью универсального программного комплекса ELCUT. В то же время не приведены какие-либо данные, свидетельствующие о преимуществах разработанной аппроксимационной модели по сравнению с традиционным подходом по тем или иным техническим показателям (например, по скорости получения результата, меньшим требованиям к компьютеру, универсальности и т.п).

3. Адекватность разработанной аппроксимационной математической модели в работе трактуется как ее соответствие традиционным моделям, полученным с помощью метода конечных элементов, хотя обычно под адекватностью модели понимается ее соответствие поведению реального физического объекта. В этой связи было бы желательно специально подчеркнуть, что адекватность традиционных моделей при условии корректности их получения многократно подтверждалась с помощью экспериментальных исследований на различных теплофизических объектах и, следовательно, используемый диссертантом способ проверки адекватности правомерен.

4. Соотношение (2.3.31) на стр.69, конечно, не является уравнением для  $a_n$ , а сжатой записью системы линейных алгебраических уравнений, что отмечено и самим автором на стр. 70. К сожалению, развернутая запись этой

системы уравнений не приведена. Это существенно затрудняет понимание логики последующих действий по организации итерационного процесса определения искомых параметров. К тому же в соотношениях (2.3.29) – (2.3.32) не указан верхний предел изменения индекса  $m$  при фиксированном  $n$ .

5. Попытку распространить сферу применения разработанных программно-алгоритмических средств для решения задач трассировки соединений проводников сверхбольших интегральных схем (СБИС), печатных плат радиоэлектронных устройств и т.п. вряд ли можно считать удачной. Это связано в первую очередь со спецификой требований, предъявляемых к трассировкам в соответствующей предметной области. Так, например, при трассировке СБИС обычно используются такие критерии ее качества как суммарная длина всех соединений, расстояние между элементами, соединенными наибольшим количеством связей, длина наиболее длинных связей, число межслойных переходов, параметры паразитных связей между элементами и проводниками, равномерность температуры на поверхности кристаллической подложки и т.д. С другой стороны, в диссертации указано, что «основными показателями качества трассировки систем теплого обогрева сложных технологических трубопроводов являются низкая материалоемкость, минимальные гидравлические сопротивления ТП, зависящие от шероховатости внутренней поверхности труб, местных сопротивлений и длины трубопроводов, высокий уровень надежности и безопасности, удобство эксплуатации и технического обслуживания». Достаточно сопоставить эти два списка, чтобы предвидеть непродуктивность такой попытки. При этом следует подчеркнуть, что полученных в диссертации научных и практических результатов по проблеме оптимальной энергоресурсоэффективной трассировки систем теплого обогрева сложных технологических трубопроводов вполне достаточно для общей положительной оценки работы.

6. Имеются претензии по части оформления и представления результатов работы. Так, в частности, на ряде рисунков (например, на рис. 2.3.2) не указана полярная система координат; на рис. 2.4.7, где представлена картина температурного поля задачи теплопроводности, отсутствует информация о шкале цветности и к тому же без комментариев изображены некоторые векторы (рис. 2.4.7а); символ  $\alpha$  на стр. 49 - коэффициент температуропроводности воздуха, а позднее  $\alpha$  это угол.

7. В работе, к сожалению, имеются отдельные погрешности редакционного характера и неточные формулировки. В качестве примера можно привести такие фразы: «Таким образом, мы видим, что безразмерные

параметры  $\lambda_{пр}/\lambda_{тр}$ ,  $\delta_{тр}/R_{вн.тр}$ . должны управлять данной задачей» (стр. 66) или «Формула (1.4.9) решается методом последовательных приближений» (стр. 50); подпись под рис. 2.4.7 «Картина температурного поля задач теплопроводности» (стр. 79).

8. Обзорная глава 1 несколько перегружена элементарными сведениям из области теплотехники.

Следует подчеркнуть, что, несмотря на наличие ряда дискуссионных вопросов и указанных недостатков, все они не могут в принципе изменить общую положительную оценку диссертации в целом, ее научной ценности и практической значимости.

#### **7. Соответствие работы паспорту специальности**

Диссертация соответствует следующим пунктам области исследования: **Специальность 05.13.18** «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» - технические науки:

- П.1 Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений.

- П.2 Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей.

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

- П.6 Разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента.

**Специальность 05.17.08** «Процессы и аппараты химических технологий» - технические науки:

- совершенствование аппаратного оформления технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения,

- методы изучения и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности,

- принципы и методы синтеза ресурсосберегающих химико-технологических систем с оптимальными удельными расходами сырья, топливно-энергетических ресурсов и конструкционных материалов.

- исследование тепловых процессов в технологических аппаратах и технологических схемах

В целом, диссертационная работа производит хорошее впечатление. Автором проведено серьезное исследование проблемы. Он грамотно подошел к

построению своих собственных моделей, а также успешно разработал и программно реализовал соответствующие алгоритмы.

#### **8. Публикация основных результатов и характеристика источников**

По теме диссертационного исследования опубликовано 8 научных трудов, в том числе 2 статьи 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.

#### **9. Заключение**

Представленная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе обобщения опубликованных научных работ и собственных экспериментальных исследований автором получены новые научно-обоснованные алгоритмические и программно-технические решения по развитию комплексного подхода к решению задачи оптимизации энергоресурсоэффективности трассировки систем обогрева сложных технологических трубопроводов, реализация которых вносит значительный вклад в экономическое развитие, повышение энергоэффективности и экологической безопасности предприятий нефтегазохимического комплекса. Диссертация написана доходчиво и грамотно. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Исходя из сказанного считаю, что диссертационная работа Кохова Тимура Александровича «Топологическо-эвристическо-вычислительные алгоритмы и комплекс программ оптимизации энергоресурсоэффективности трассировки систем обогрева сложных технологических трубопроводов», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, выполнена на высоком научном уровне, отвечает формулировкам и пунктам области исследования специальностям 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки) и 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки), 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 Кохов Тимур Александрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальностям 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ



(технические науки) и 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий  
(технические науки)

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры управления и информатики  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Филаретов Г.Ф.

21 мая 2018 года

*Людмила* *удост*

ЗАМЕСТИТЕЛЬ  
УПРАВЛЕНИЯ ПО РАБОТЕ С

СЕРТСТВО СВЯЗ  
И ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОН  
СЛУЖБА ПСН И П.Н.

ВАНЯ И НАУК  
НЕ ОБРАЗОВА

Исп. - Геннадий Федорович Филаретов  
111250, г. Москва, Красноказарменная улица, 14  
тел. +7(495)-362-74-07  
Почта: [gefefi@yandex.ru](mailto:gefefi@yandex.ru)  
Научная специализация: 05.13.01, 05.13.06, 05.13.18