

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Япаровой Натальи Михайловны
«Методы и алгоритмы обработки информации в системах контроля
и прогнозирования процессов теплопереноса в условиях неполных
и динамически изменяющихся данных», представленную на
соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности
05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(промышленность)

Актуальность темы диссертации

Повышение эффективности производственных процессов в целом ряде ведущих отраслей промышленности, оптимизация проектных решений и показателей качества различных производств требует разработки новых подходов к управлению технологическими процессами, и при синтезе автоматизированных систем управления исследуемыми процессами во многом определяется достоверностью используемой информации. Обеспечение высокой точности контроля и прогнозирования результатов производственных процессов невозможно без применения современных наукоемких техник в сфере обработки информации.

Решение обширного круга актуальных задач идентификации и диагностики промышленных процессов, определение свойств материалов и технических устройств, выбор режимных параметров функционирования промышленного оборудования, как правило, требует применения специального научного инструментария, и в настоящий момент зачастую основывается на теории регуляризации – теории решения обратных задач математической физики, относящихся к классу некорректно поставленных задач. Одним из ведущих направлений прикладных исследований данного класса задач является идентификация широко распространенных теплообменных процессов, тепловых режимов и характеристик теплотехнических объектов.

Многообразие видов обратных задач, успех решения которых, в том числе, во многом определяется объемом и качеством исходной информации, обуславливает необходимость в развитии теории и методологии их решения, разработке методов и алгоритмов, реализующих единый системный подход к проблеме идентификации математических моделей процессов теплопереноса.

В такой ситуации создание новых методов и алгоритмов обработки информации, обеспечивающих системный подход к исследованию процессов теплообмена в условиях динамически изменяющихся и неполных данных, удобных для применения в автоматизированных системах управления тепловыми процессами, представляет значительный научный и практический интерес.

Несмотря на существенные результаты в области решения некорректно поставленных обратных задач, основы которой заложили ведущие ученые А.Н. Тихонов, М.М. Лаврентьев и В.К. Иванов, проблема разработки методов и алгоритмов обработки информации, лежащих в основе создания эффективных методов контроля и прогнозирования теплового состояния объекта, нуждается в дальнейшем исследовании.

Сказанное определяет актуальность проблемы обработки информации на основе результатов косвенных измерений в системах прогнозирования и контроля температурного состояния объекта в условиях неполноты исходных данных, на решение которой направлено представленное диссертационное исследование.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 333 страницы, 120 рисунков, 22 таблиц, список литературы из 245 источников.

Во введении означены цель и задачи работы, показаны их актуальность и соответствие указанной специальности.

В первой главе представлена предметная область исследования и выполнен подробный обзор работ, посвященных решению обратных задач теплопереноса в объектах с известным и неизвестным начальным состоянием.

Во второй главе представлен разработанный подход к решению обратной задачи линейного теплопереноса в системе с известной начальной температурой и разработке методов прогнозирования температуры во внутренней области и идентификации внутренних теплоисточников. Метод основан на использовании

интегральных моделей в виде явных зависимостей искомым характеристикам от известных данных и последующего построения вычислительных алгоритмов с использованием стабилизирующих функционалов.

В третьей главе разработан подход к решению обратных задач по прогнозированию температуры при неизвестных начальных условиях. Предлагаемый метод дискретной регуляризации использует стабилизирующий функционал, параметр регуляризации которого и шаг дискретизации по координате согласуется с величиной шага дискретизации по времени и уровнем погрешности.

В четвертой главе рассмотрены методы прогнозирования температуры в нелинейных обратных задачах с неизвестными начальными условиями. Метод дискретной регуляризации распространен на случай зависимости теплофизических свойств объекта от температуры, которая моделируется в явном виде, откуда на основе конечно-разностных уравнений со стабилизирующим функционалом находят значение искомой функции.

В пятой главе разработан метод определения температуры на основе первичной информации в виде результатов измерений электрических сопротивлений. Построена математическая модель, реализующая зависимость температуры от сопротивлений и предложен метод её параметрической идентификации.

В заключении приведены выводы по диссертационной работе.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке с единых системных позиций методов и алгоритмов обработки информации, лежащих в основе контроля и прогнозирования температурного состояния объекта в процессе нестационарной теплопроводности в условиях неполностью определенных данных. Отдельно можно отметить единый, обладающий достаточной универсальностью, подход, распространенный на исследование и системный анализ широкого спектра процессов теплопереноса, представленных обратными задачами математической физики и описываемых в терминах систем с распределенными параметрами.

В диссертации в этом направлении получены следующие результаты, являющиеся новыми:

- Разработаны интегральные модели процессов теплообмена и основанные на них методы и алгоритмы решения обратных задач с известными начальными условиями, обеспечивающие нахождение температуры в контрольной точке и идентификацию внутреннего теплового источника по результатам граничных измерений, и реализующие зависимость искомых функций от измеренного теплового состояния в явном виде.

- Разработан принципиально новый, впервые доведенный до конкретных результатов подход к численному решению обратных задач теплопроводности в линейной и нелинейной постановках в условиях, когда начальное состояние неизвестно и традиционные алгоритмы не могут быть использованы.

- На основе предложенного подхода для линейных обратных задач теплообмена с неизвестными начальными условиями разработаны методы и алгоритмы прогнозирования температурного состояния во внутренней пространственной области, занимаемой объектом, при действии внешнего теплового источника.

- Разработаны и верифицированы методы и алгоритмы решения обратных задач теплообмена с неизвестным начальным состоянием в нелинейных постановках, позволяющие по результатам граничных измерений осуществлять прогнозирование температуры во внутренней области.

- Создана единая математическая модель в виде явной зависимости искомой температуры от результатов измерений электрических сопротивлений, позволяющая проводить вычисления практически без ограничений на температурные диапазоны или требования к теплофизическим свойствам материалов термометров сопротивления. Построен оптимальный по порядку метод параметрической идентификации полученной зависимости.

- Разработаны универсальные алгоритмы и метод нахождения температуры по результатам первичных измерений сопротивлений, формирующие избыточную информацию, позволяющую оценить точность и качество экспериментальных данных.

В целом, в диссертации получены методологические и алгоритмические основы контроля и прогнозирования теплового состояния объектов с распределенными параметрами в процессе теплопереноса в условиях неполноты исходной информации, предложены новые методы обработки информации,

разработаны конструктивные алгоритмы их реализации стандартными вычислительными средствами.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы Н.М. Япаровой заключается в разработке новых математических моделей, отражающих явную зависимость искомых характеристик от доступных результатов измерений; новых, обладающих рядом преимуществ методов и алгоритмов решения обратных задач теплообмена и основанных на них методов обработки экспериментальной информации.

Предлагаемые модели, методы и алгоритмы могут использоваться в автоматических системах управления технологическими процессами в качестве базовых положений для разработки практических методов обработки экспериментальной информации для контроля и прогнозирования тепловых процессов, получения качественной и количественной оценки результатов измерений, а также выработки рекомендаций по реализации температурных режимов тепловых процессов.

Эффективность предложенных вычислительных алгоритмов и широкие возможности их практического использования продемонстрирована применительно к совокупности базовых обратных задач теплопереноса. Приведенные свидетельства о промышленном использовании результатов работы подтверждают прикладное значение диссертационных исследований.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации подтверждаются корректным применением математического аппарата технологической теплофизики, теории управления системами с распределенными параметрами и методов оптимизации; сравнительным анализом теоретических результатов с результатами компьютерного моделирования применительно к широкому кругу конкретных ОЗТ; материалами, свидетельствующими о промышленном использовании предлагаемых методов и разработанного алгоритмического и программного обеспечения.

Материалы диссертации опубликованы в высокорейтинговых научных изданиях, включая издания, представленные в Международных базах цитирования WoS, Scopus и журналы из перечня ВАК РФ, широко представлены

на международных научных конференциях и конгрессах. Автореферат и публикации отражают основные положения диссертации.

Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы

1. В математических моделях теплопереноса (глава 2) не ясен выбор класса функции внутренних источников.

1.1 В задачах определения температуры в контрольных точках объекта и идентификации функции внутреннего источника тепла (при известном начальном состоянии) базовые положения разработанного подхода приведены для обобщенной математической модели, в которой функция внутренних источников $f(t)$ или $F(t)$ зависит только от времени (математические модели (2.1), (2.9), (2.59)). Для объектов с распределенными параметрами не понятна физическая интерпретация такой функции, не зависящей от координаты объекта, так как в подавляющем большинстве тепловых объектов данная функция имеет явно выраженную зависимость от пространственной координаты. Такая модель существенно ограничивает класс исследуемых объектов, следовало бы уточнить физическую сущность таких процессов.

1.2 При рассмотрении математической модели определения тепловой нагрузки переход от функции $f(x,t)$ к $f(t)$ (стр. 60,61, формула (2.23)), обусловленный постоянством теплофизических характеристик, отражает частный случай, так как в общем случае сама функция источников зависит от пространственной координаты. Нужно было обосновать этот переход и уточнить условия его применения.

1.3 В связи с отмеченным в п.1.1. и 1.2 требуется уточнить условия распространения полученных методов и алгоритмов решения рассмотренных задач на общий случай процессов теплопереноса, учитывающий зависимость функции внутренних источников от пространственной координаты.

2. При описании метода определения температуры в контрольной точке, предусматривающего редукцию представленной ранее обобщенной модели к интегральной модели, выражающей явную зависимость искомой величины от исходных данных, рассмотрена простейшая модель без функции внутренних источников, с однородными начальными условиями, когда одно из граничных условий является нулевым, а второе задано граничным условием первого рода.

В результате, полученная интегральная модель (2.40), (2.41) не содержит в себе этих неотъемлемых составляющих любого реального теплообменного процесса. Аналогичная ситуация (при всех нулевых составляющих, кроме искомой функции) имеет место в задаче идентификации внутренних теплоисточников (2.75). Для уверенного использования предлагаемого метода следовало бы провести его верификацию, анализ устойчивости и точности на моделях, более приближенных к реальности.

3. Следует обосновать, почему предлагаемый подход к решению задач с неизвестным начальным состоянием, осуществляющий вычислительную процедуру относительно пространственной переменной, уменьшает влияние неизвестного начального состояния на получаемые результаты (устойчивость решения) по сравнению с традиционными или привести результаты сравнения.

4. Следует пояснить вывод по результатам анализа оценки погрешностей прогнозируемых температур при применении метода дискретной регуляризации для нелинейных процессов (стр. 213):

« Получить приемлемый уровень точности возможно только при $t \in [\varepsilon, T - \varepsilon]$, где величина $\varepsilon > 0,05T$ ».

От чего зависит выбор величины ε , какие рекомендации и ограничения на верхнее значение ε следует учитывать при выборе этого значения, чтобы обеспечить соотношения между ε и интервалом допустимого уровня точности?

5. Имеются недостатки в оформлении. Имеются опечатки в текстах диссертации и автореферата. Также имеются расхождения между обозначениями на рисунке и пояснениями. Например, в пояснениях к рисунку 16 точки определения температуры обозначены B_1 и B_2 , в то время, как на самом рисунке – B и S .

Заключение

Замечания не снижают общего высокого научного и практического уровня диссертации.

В целом, диссертация Н.М. Япаровой является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новые научно-обоснованные технические решения, имеющие важное значение в области разработки новых методов и алгоритмов обработки информации при контроле и прогнозировании теплового состояния объектов с распределенными параметрами.

Диссертация выполнена на высоком качественном уровне, содержит достаточно полные содержательные и формальные обоснования предлагаемых подходов к решению исследуемых проблем, сопровождается необходимыми ссылками на используемые литературные источники.

Полученные в диссертации результаты полностью соответствуют поставленным целям и задачам работы, содержание автореферата в полном объеме отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность), а ее автор, Япарова Наталья Михайловна, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент
профессор кафедры «Автоматика и
управление в технических
системах» ФГБОУ ВО
«Самарский государственный
технический университет»,
д.т.н., доцент

Дилигенская Анна Николаевна

02.10.2020

Подпись Дилигенской Анны Николаевны
удостоверяю:

Ученый секретарь ФГБОУ ВО
«Самарский государственный
технический университет»



Малиновская Юлия Александровна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»,
Адрес: 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Главный корпус, 8(846) 278-44-00, rector@samgtu.ru, <https://samgtu.ru>.

М.П.