

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Дилигенской Анны Николаевны «Методы идентификации, анализ и синтез алгоритмов последовательной параметрической оптимизации в обратных задачах технологической теплофизики», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)

**Актуальность темы диссертации.** Применение математического моделирования в исследовании теплофизических процессов и систем на основе экспериментальной информации сопровождается все более ужесточающимися требованиями к используемым средствам, их результативности и простоте реализации. Одним из основных эффективных и мощных инструментов решения задач идентификации и диагностики неконтролируемых характеристик и воздействий процессов теплопроводности является методология решения обратных задач.

Развитие теории обратных некорректных задач привело к возникновению большого числа численных и аналитических методов и методов регуляризации решений. В области технологической теплофизики основное внимание уделяется разработке и применению методов решения актуальных прикладных задач, позволяющих определять краевые условия, теплофизические свойства материалов и режимы работы теплового оборудования.

На сегодняшний день методология решения обратных задач теплопроводности продолжает активно развиваться, что требует дальнейших исследований по разработке эффективных методов, алгоритмов и программных продуктов, направленных на решение широкого спектра задач.

Диссертация Дилигенской Анны Николаевны, посвященная созданию эффективного подхода и методов решения важного класса обратных задач математической физики – обратных задач технологической теплофизики, и разработке методик решения задач идентификации типовых воздействий, возникающих в процессе нестационарного теплообмена, направлена на решение актуальной и важной научной проблемы.

**Новизна проведенных исследований и полученных результатов.** В диссертационной работе Дилигенской А.Н. разработаны новые эффективные методы решения и системного анализа основных видов обратных задач теплопроводности в области технологической

теплофизики, базирующиеся на специальных подходах теории оптимального управления объектами с распределенными параметрами. Предлагаемые методы обеспечивают основанный на аналитических процедурах поиск физически реализуемых решений, принадлежащих некоторым априорно задаваемым компактным множествам, с требуемой точностью.

1. Разработан новый подход к решению широкого круга обратных задач теплопроводности, существенной чертой которого является поиск решений на множестве непрерывных и непрерывно-дифференцируемых функций, что соответствует условно-корректной постановке задачи. Задача формулируется в экстремальной постановке и рассматривается как задача оптимального управления объектом с распределенными параметрами при использовании равномерной метрики оценивания температурных невязок. Данный подход реализован в форме аналитической идентификации искомых характеристик исследуемых процессов нестационарной теплопроводности на основе методов теории оптимального управления системами с распределенными параметрами. Разработанные методы минимаксной параметрической оптимизации основаны на предварительной параметризации решений и позволяют получить решение в классе кусочно-параболических или полиномиальных функций.

2. На основе метода минимаксной оптимизации созданы методики и алгоритмы решения граничных, внутренних, ретроспективных и коэффициентных обратных задач теплопроводности. Методики базируются на параметрической оптимизации идентифицируемых характеристик и используют специальные альтернативные свойства искомых оптимальных решений, оцениваемых в равномерной метрике. Разработанные методики использованы для системного анализа базовых свойств и качественных закономерностей найденных решений соответствующих обратных задач.

3. Разработан метод идентификации внутренних и внешних пространственно-временных воздействий, основанный на модальном представлении наблюдаемого температурного состояния и искомой характеристики. Единая форма их математического описания позволяет восстановить идентифицируемые временные модальные составляющие, принадлежащие компактному множеству непрерывных и непрерывно-дифференцируемых функций. Точность решения задачи задается количеством членов разложения в усеченный ряд по собственным функциям краевой задачи. Для задачи идентификации воздействий, зависящих от времени и пространственной координаты, поставлена и решена параметризуемая задача оптимального планирования эксперимента.

4. Предложены методы параметрической оптимизации, позволяющие находить решения обратных задач теплопроводности в условиях действия возмущающих факторов. Разработанный метод минимаксной оптимизации реализован при проведении предварительного сглаживания ошибок измерения и в условиях неполноты исходной информации, рассматриваемой как интервальные неопределенности возмущающих воздействий.

5. Разработанные методы параметрической оптимизации апробированы на представляющих самостоятельный интерес примерах технических приложений, характеризующих актуальные задачи технологической теплофизики.

Отличительной особенностью разработанных автором методов последовательной параметрической оптимизации является то, что они позволяют найти решение с требуемой точностью без использования численных алгоритмов регуляризации.

**Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики.** Научная значимость полученных в диссертации результатов заключается в разработке новых конструктивных методов последовательной параметрической оптимизации в обратных задачах технологической теплофизики при исследовании процессов нестационарной теплопроводности. Рассмотренные в диссертации экстремальные постановки обратных задач теплопроводности, обеспечивающие поиск их решений на компактных множествах непрерывно-дифференцируемых функций, отвечают практическим требованиям отыскания искомых экстремалей на классе физически реализуемых идентифицируемых воздействий.

Новый научный подход применим для широкого класса обратных задач теплопроводности, описываемых линейными и нелинейными, аналитическими и численными, одномерными и двумерными моделями с различными идентифицируемыми воздействиями: внутренними, граничными и начальными распределениями, теплофизическими характеристиками; сосредоточенными, пространственно-распределенными и пространственно-временными воздействиями.

Автору удалось создать метод, позволяющий решать широкий круг обратных задач теплопроводности с высокой точностью без применения трудоемких регуляризирующих процедур. Методологическая база, созданная автором, предоставляет исследователям, занимающимся вопросами решения обратных задач теплопроводности, практический инструментарий по внедрению этих методов в новые алгоритмические и программные средства для решения и системного анализа прикладных задач технологической теплофизики.

Эффективность и практическая значимость разработанной методологии продемонстрирована решением целого ряда представляющих самостоятельный интерес задач идентификации параметров и характеристик тепловых систем и процессов нестационарной теплопроводности. Практическая значимость основных положений диссертации подтверждается использованием полученных результатов в расчетной практике ООО «ГК ИНФОПРО» (г. Самара) при создании компьютерного тренажёра оператора основного технологического оборудования ТЭЦ; АО «Арконик СМЗ» (г. Самара) при проектировании нагревательного оборудования при определении параметров и характеристик моделей температурного поля и режимов нагрева; ООО «Специальное Конструкторско-Технологическое Бюро «Пластик» (г. Сызрань) при исследовании параметров теплопроводности и термоупругости полимерных и композиционных материалов, идентификации граничных воздействий и при планировании экспериментальных исследований; в учебном процессе в Самарском государственном техническом университете.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений.** Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов теории оптимального управления, теории тепло- и массопереноса, математического моделирования, аппарата конечных интегральных преобразований. Достоверность полученных результатов объективно подтверждается приведенными результатами компьютерного моделирования, использования выводов и рекомендаций работы в проектных и опытно-конструкторских разработках ряда промышленных предприятий, апробацией основных результатов на конференциях, семинарах, и в опубликованных работах.

**Замечания по диссертационной работе.** Вместе с отмеченными достоинствами этой работы следует отметить и некоторые недостатки.

1. Из материалов диссертации остается не вполне ясной степень обоснования возможности распространения базовых результатов, полученных применительно к одномерным линейным моделям обратных задач теплопроводности, на нелинейные и многомерные модели.

2. Почему в диссертации представлены два различных способа решения двумерных обратных задач теплопроводности? Можно ли провести сравнение этих методов, полученных с их помощью результатов и дать рекомендации о предпочтении использования того или иного метода?

3. На каком основании появляется необходимость представления температурной невязки и идентифицируемого воздействия рядами одинаковой пространственной размерности (на основе применения преобразования Лапласа) в двумерной обратной задаче при использовании метода модальной идентификации?

4. В диссертации отсутствует анализ возможностей распространения разработанных методов параметрической оптимизации на задачи идентификации нескольких (двух) неизвестных воздействий или характеристик на основе решения обратных задач теплопроводности.

5. При решении задачи модальной идентификации используется разложение температурного поля и идентифицируемых воздействий по ортогональной системе собственных функций задачи, что накладывает ограничения на функции разложения идентифицируемого параметра, и как следствие может являться ограничением точности метода.

Указанные замечания не являются существенными при общей положительной оценке данного исследования и не снижают ценности выполненной автором диссертационной работы.

**Общая характеристика диссертационной работы.** Диссертация, в целом, в полной мере соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. Соблюdenы необходимые принципы соответствия:

- соответствие целей и задач;
- соответствие автореферата и диссертации;
- соответствие содержания диссертации содержанию опубликованных работ;
- соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.

Строгость авторской аргументации в тексте автореферата, в тексте публикаций и в самой диссертации, стиль изложения, хорошее полиграфическое качество оформления, небольшое число опечаток или грамматических ошибок свидетельствуют о достаточно высокой культуре автора как научного работника.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в печати. Научные положения диссертации полностью отражены в ведущих рецензируемых научных журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных работ, и в международные системы Web of Science и Scopus.

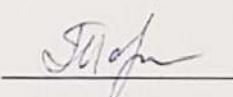
Прилагаемые к диссертации документы объективно свидетельствуют о практической полезности результатов диссертационной работы.

**Заключение.** Диссертация Дилигенской Анны Николаевны «Методы идентификации, анализ и синтез алгоритмов последовательной параметрической оптимизации в обратных задачах технологической теплофизики» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую новое эффективное решение крупной научной проблемы в области системного анализа и обработки информации – проблемы создания новых конструктивных методов решения обратных задач теплопроводности.

Представленная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, имеет общетеоретическую значимость для науки, представляет практическую ценность для специалистов в области обратных задач технологической теплофизики.

Работа полностью отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность), а ее автор, Дилигенская Анна Николаевна, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:  
профессор кафедры  
«Радиоэлектроника  
и телекоммуникации»  
ФГБОУ ВО «Саратовский  
государственный технический  
университет имени Гагарина Ю.А.»,  
доктор технических наук, доцент

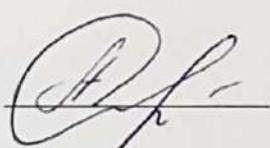
 О.Ю. Торгашова

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.),  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, тел. +78452998819  
e-mail: olgatorg@gmail.com.

Подпись д.т.н. Торгашовой Ольги Юрьевны заверяю.

Ученый секретарь Ученого совета  
СГТУ имени Гагарина Ю.А.,  
к.ф.-м.н., доцент



 О.А. Салтыкова