

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО

«Новосибирский государственный

технический университет»,

доктор технических наук, профессор

Батаев Анатолий Андреевич

« 30 сентября » 2020 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации 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 исследования

Проблемы, связанные с оптимизацией производственного процесса являются особо важными для любого предприятия. Эффективность технологических циклов, сопряженных с теплопереносом, зависит от выбора параметров режимов внешнего теплового воздействия на поверхность объекта, под влиянием которых внутри объекта создаются определенные температурные поля, способствующие формированию в конечном продукте требуемых свойств и характеристик. Разработка методов обработки информации, реализуемых в системах контроля и прогнозирования в автоматических системах управления технологическими процессами и позволяющих по результатам поверхностных измерений прогнозировать влияние выбранных тепловых режимов на внутреннее тепловое состояние объекта, а также осуществлять высокоточный контроль его реализации, являются актуальными направлениями исследований.

В отдельное направление, требующего особого внимания, выделяют область обработки информации, связанную с технологическими процессами, в которых невозможно измерить начальную температуру внутри тела без нарушения целостности объекта, а также с процессами, в которых установить датчики контроля или регулировать интенсивность внешнего теплового воздействия возможно только вдоль некоторой части границы объекта. К таким процессам относится вторичная термическая обработка при горячей прокатке, технологические этапы комплексной термообработки изделий, тепловой мониторинг работающих систем и механизмов, неразрушающий тепловой контроль изделия. Это приводит к проблеме неполных исходных данных, которая, в

сочетании с проблемой обеспечения точности и устойчивости алгоритмов обработки информации относительно погрешности исходных данных, требует создания принципиально нового, единого подхода к построению алгоритмов обработки информации.

Таким образом, разработка и исследование методов обработки результатов граничных измерений для прогнозирования температуры во внутренних точках объекта в условиях отсутствия информации о начальном тепловом состоянии системы, учитывающих изменения теплофизических характеристик материала и обладающих устойчивостью к возможным отклонениям в исходных данных, является актуальной научно-технической проблемой.

Диссертационная работа Япаровой Натальи Михайловны посвящена разработке, теоретическому обоснованию и практическому применению алгоритмов и методов, позволяющих определять внутренние температурные поля объекта по зашумленным исходным данным, сформированным в соответствии с результатами поверхностных измерений и характеристиками режима внешнего теплового воздействия, а также созданию и исследованию методов обработки первичных измерений, позволяющих проводить оценку точности и качества измерений.

Научная новизна результатов исследования

Новизна представленных в работе исследований заключается в разработке и исследовании методов и алгоритмов, используемых для обработки результатов измерений и служащих основой для методов контроля и прогнозирования теплового состояния объекта, подвергаемого внешнему тепловому воздействию, в условиях неполных и динамически изменяющихся исходных данных. Новыми в работе являются следующие результаты

1. Разработан единый подход к решению задач теплопереноса и идентификации внутреннего теплового источника в объекте с известным начальным тепловым состоянием. На основе предложенного подхода построены интегральные модели тепловых процессов и созданы методы решения полученных интегральных уравнений.

2. Предложен единый принципиально новый подход к численному прогнозированию внутренних температурных полей при линейном и нелинейном теплопереносах в объектах с неизвестным начальным тепловым состоянием, подвергаемом внешнему тепловому воздействию. Основная его идея заключается в том, что искомые температуры определяют относительно пространственной переменной.

3. Впервые созданы и теоретически исследованы вычислительные схемы методов определения температур во внутренних точках тела при линейном теплопереносе в объектах с неизвестным начальным тепловым состоянием, основанные на конечно-разностных аналогах исходных уравнений и реализующие предложенный подход.

4. Разработаны и исследованы методы прогнозирования внутренних нестационарных температурных полей по характеристикам режима внешнего теплового воздействия и результатам поверхностных температурных измерений, содержащих отклонения от действительных значений в ситуации, когда изменения теплофизических

свойств материала определяются в зависимости от температуры и отсутствует информация о начальном тепловом состоянии объекта.

5. Предложена математическая модель, характеризующая явную зависимость температуры от первичных измерений электрических сопротивлений, единая для сенсоров, изготовленных из различных материалов и температурных диапазонов. Разработан метод идентификации параметров математической модели и обоснована его оптимальность по порядку для исходных данных, уровень зашумленности которых близок к эталонному.

6. Предложен единый метод определения температуры по результатам обработки первичных измерений сопротивлений, позволяющий формировать избыточную информацию, необходимую для оценки точности и качества измерений. Предложены алгоритмы оценки точности и качества измерений, основанных на обработке избыточной информации.

Обобщая сказанное можно констатировать, что новизна представленных диссертационной в работе исследований заключается в создании методологических и теоретических основ инженерных методик и процедур, специального математического и алгоритмического обеспечения для обработки измерительной информации системами контроля и прогнозирования теплового состояния объектов, подвергаемых внешнему тепловому воздействию при реализации технологических процессов.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, являются достоверными и обоснованными, что подтверждается корректным использованием основ системного анализа, теории теплопереноса, теории обратных и некорректных задач, операционного исчисления, современных подходов и методов вычислительной математики математического аппарата конечно-разностных уравнений и конечных интегральных представлений. Справедливость выводов относительно эффективности разработанных методов подтверждается соответствием результатов теоретического исследования с результатами сравнительного анализа, выполненного на основе имитационного моделирования и результатами экспериментальных исследований.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается также свидетельствами о государственной регистрации программных продуктов и документами о внедрении и использовании научных положений диссертационного исследования в информационно-аналитическое обеспечение производственной деятельности промышленных предприятий и корпораций.

Основные положения диссертации докладывались на международных конгрессах, авторитетных международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Все основные научные положения диссертации опубликованы в 43 научных работах, из них 15 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Перечнем ВАК, 10 в изданиях, входящих в международные базы цитирования *Scopus* или *Web of Science*.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Автор предлагает принципиально новые подходы к созданию методов определения внутренних нестационарных температурных полей в объектах с неизвестным начальным тепловым состоянием, подвергаемых внешнему тепловому воздействию при реализации технологических процессов. В работе впервые разработаны и исследованы вычислительные алгоритмы, реализующие предложенные подходы и позволяющие прогнозировать внутреннее тепловое состояние объектов, формируемое под влиянием выбранного режима внешнего теплового воздействия на основе характеристик этого режима и результатов поверхностных температурных измерений, содержащих отклонения от действительных значений.

Совокупность разработанных в диссертации вычислительных алгоритмов представляют собой методологические основы решения широкого круга прикладных задач теплопереноса с зашумленными и неполными исходными данными.

Автор предлагает новые математические модели и алгоритмы обработки результатов первичных измерений, предназначенных для формирования температурных значений, используемых в качестве исходных данных для прогнозирования температур внутри объекта, а также в работе созданы численные алгоритмы, позволяющие проводить качественную оценку результатов измерений.

Полученные в работе положения и практические результаты использованы:

- при обработке и анализе результатов температурных измерений, предназначенных для выявления поверхностных дефектов, образующихся в процессе непрерывной разливки стали (*SMS group*);
- при разработке и оптимизации технического регламента термообработки (Челябинский ЭРЗ, АО «Желдорремаш»);
- в информационно-аналитическом обеспечении точности и достоверности результатов измерения температуры (Промышленная Группа «Метран»);
- при разработке рекомендаций по выбору и регулированию настраиваемых параметров температурных режимов, реализуемых в системах контроля и управления тепловым состоянием оборудования (ООО «Челябинский компрессорный завод»).

Рекомендации по использованию результатов исследования

Внедрение результатов исследования рекомендуется осуществить в организациях и учреждениях, занимающихся многоплановым исследованием тепловых процессов, в промышленных объектах, связанных с термообработкой, в металлургических и машиностроительных производствах.

Целесообразным направлением использования результатов работы является системный анализ и распространение разработанных методов на решение проблемы определения температурных полей в неоднородных пространственных объектах с неизвестным начальным состоянием, связанной с оценкой теплового состояния оборудования, используемого на промышленных предприятиях при термообработке и прокатке, а также с контролем и прогнозированием состояния заготовок, узлов и деталей в тепловых технологических процессах, сопряженных с обработкой металлов давлением.

Рекомендуем использовать разработанные алгоритмы оценки точности и качества температурных измерений для обработки результатов первичных измерений на этапах калибровки и эксплуатации, а также для реализации функциональной возможности самодиагностики в интеллектуальных средствах измерения температуры. Рекомендуем сформировать кросс-функциональную группу с использованием ресурсов ПГ «Метран» для аналитического и экспериментального исследования, направленного на создание средств измерения температуры и модернизацию АСУТП предприятий металлургического комплекса.

Рекомендуем научные разработки по теме диссертации использовать в учебном процессе при реализации образовательных программ подготовки бакалавров по направлениям 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника» (профили «Обработка данных и методы искусственного интеллекта», «Автоматизированные системы обработки информации и управления»), 12.03.01 – «Приборостроение», 22.03.02 – «Металлургия», а также при реализации образовательных программ подготовки магистров 09.04.01 – «Информатика и вычислительная техника» (профили «Анализ данных и методы искусственного интеллекта», «Автоматизированные системы обработки информации и управления»), 12.04.01 – «Приборостроение», 22.04.02 – «Металлургия».

Структура и объем диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 245 наименований и 10 приложений. Общий объем работы составляет 333 страницы, основного текста – 295. страниц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные результаты исследований, а также приведены сведения о публикациях, положения, выносимых на защиту, апробации и реализации исследований.

Первая глава содержит анализ проблемы обработки информации, полученной на основе косвенных измерения в условиях неполных и динамически изменяющихся исходных данных в системах контроля и прогнозирования теплового состояния объекта, подвергаемого внешнему тепловому взаимодействию. Представлена предметная область исследования, выявлены специфические особенности технологического оборудования, систем управления, контроля и прогнозирования в АСУТП, специфика первичных измерений, требующие разработки новых методов обработки информации, основанных на решении обратных задач.

Во второй главе предложен единый подход к построению интегральных моделей определения температуры и идентификации внутреннего теплового источника в объекте с известным начальным тепловым состоянием, подвергаемом внешнему тепловому воздействию. Также автором предложены алгоритмы, позволяющие найти из полученных интегральных уравнений искомые тепловые функции в условиях зашумленных исходных данных при фиксированном шаге дискретизации по времени. Устойчивость и точность методов подтверждается результатами вычислительных экспериментов.

Третья глава посвящена разработке методов обработки результатов граничных температурных измерений, служащих основой для прогнозирования при линейном теплопереносе нестационарных температурных полей во внутренних точках тела, подвергаемого внешнему тепловому воздействию, в ситуации, когда его начальное тепловое состояние неизвестно. Автором впервые предложены вычислительные схемы определения температур в линейном и двумерном объектах, найдены условия, обеспечивающие устойчивость вычислительной процедуры, получены теоретические оценки погрешности методов. Надежность методов подтверждается результатами имитационного моделирования, также представленными в работе.

Четвертая глава посвящена разработке и исследованию метода прогнозирования теплового состояния объектов с неизвестной начальной температурой при нелинейном теплопереносе, когда теплофизические свойства материала зависят от температуры. Прогнозирование осуществляется на основе обработки данных, формируемых из результатов измерений температурных функций вблизи поверхности объектов. Найдены условия, гарантирующие устойчивость вычислительных схем, получены теоретические и экспериментальные оценки погрешности результатов прогнозирования температур.

В пятой главе предложена новая математическая модель зависимости температуры от сопротивления, метод идентификации параметров математической модели и методы определения температуры из результатов обработки информации о первичных измерениях, полученных от термометров сопротивления. Автором впервые созданы алгоритмы оценки качества и точности измерений, позволяющие сформировать избыточную информацию, необходимую для оценки точности измерений. Эффективность и надежность предложенных методов и алгоритмов подтверждается результатами экспериментальных исследований, которые свидетельствуют о том, что созданные автором алгоритмы впервые позволили осуществить численную реализацию концепций, являющихся основой формирования статусов измерения и диагностики состояния средства измерения.

Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертационного исследования.

Замечания по диссертационной работе

1. Точность метода определения температуры в контрольной точке объекта с известными начальными условиями, разработанного для решения интегральных уравнений, исследована путем проведения численного сравнительного анализа, но при этом не проведено теоретическое исследование точности.

2. Во второй главе для оценки результатов, полученных с помощью метода, основанного на применении преобразований Фурье и проекционной регуляризации, автор использует понятие «гарантированная точность» (раздел 2.3.3). Это же понятие используется в главе пятой относительно метода идентификации коэффициентов (раздел 5.2.2). Автору следовало пояснить, чем обеспечивается гарантированная точность результатов вычислений.

3. Математический аппарат в диссертационном исследовании проработан на высоком уровне, но следует отметить недостаточно детальное описание имитационного моделирования (раздел 3.3.2.5) в экспериментальных исследованиях, связанных с прогнозированием температуры при линейном переносе в пространственных объектах: например, каким технологическим процессам соответствуют представленные тестовые функции.

4. В пятой главе в качестве образца используются средства измерения, содержащие никелевый и платиновый термометры сопротивления, но не раскрыты преимущества использования термометров сопротивлений с чувствительными элементами, изготовленными из различных материалов.

5. Несмотря на то, что в целом оформление диссертационной работы выполнено на хорошем уровне, тем не менее имеются неточности и опечатки (стр. 4, 50, 214).

Необходимо отметить, что данные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационного исследования и полученных в ней выводов и результатов.

Общая оценка работы

Оценивая работу в целом, считаем, что диссертация Япаровой Натальи Михайловны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена важная научная проблема – создание комплексного подхода к обработке измерительной информации о теплопереносе и разработка на его основе устойчивых методов определения нестационарных температурных полей по неполным, динамически изменяющимся, зашумленным исходным данным в объектах, подвергаемых внешнему тепловому воздействию в совокупности с созданием численных алгоритмов оценки точности и качества обработки первичных измерений. В работе с единых методологических позиций в рамках системного подхода решаются проблемы разработки, теоретического обоснования и экспериментального исследования методов и алгоритмы для определения температурных полей в условиях неполных и динамически изменяющихся данных, имеющие важное хозяйственное значение.

Основные результаты, представленные в диссертации, являются новыми, имеют теоретическую и практическую значимость и служат основой для формирования целостного комплекса методов обработки измерительной информации в системах контроля и прогнозирования результатов технологических процессов, связанных с теплопереносом.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном и методическом уровне, полученные результаты вполне обоснованы, предложенные модели и оценки корректны. Автор проявил хорошее знание предметной области исследования и основ системного анализа, показал глубокое знание специфики технологических процессов, обосновал необходимость использования теории обратных задач и регуляризирующих подходов, а также продемонстрировал высокий уровень владения аппаратом в области разработки и исследования вычислительных методов. Полученные в диссертации результаты

соответствуют поставленным цели и задачам исследования. Автореферат и опубликованные работы отражают все основные положения диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Япаровой Натальи Михайловны полностью соответствует требованиям п. 9, п.10, п. 11, п. 13, п.14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в части требований, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

Отзыв на диссертационную работу Япаровой Н.М. обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры технической теплофизики ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», протокол №20-3 от « 25 » сентября 2020 г.

Декан факультета автоматике и
вычислительной техники
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный
технический университет»,
кандидат технических наук, доцент

Рева Иван Леонидович

Заведующий кафедрой
технической теплофизики
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный
технический университет»,
кандидат технических наук, доцент

Горбачев Максим Викторович

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный
технический университет»,
доктор технических наук, профессор

Брованов Сергей Викторович

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Почтовый адрес: 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Тел.: (383) 346-08-43 (общий отдел), (383) 348-50-01 (приемная ректора)

e-mail: rector@ntsu.ru

Адрес официального сайта в сети интернет: www.ntsru.ru ([http:// ngtu.pf](http://ngtu.pf))

**ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ**
Ведущий документовед



Рева И. Л., Горбачева М. В., Брованов С. В.
Ваше -