



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,
доктор технических наук, доцент
А.В. Коржов
марта 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук Япаровой Натальи Михайловны «Методы и алгоритмы обработки информации в системах контроля и прогнозирования процессов теплопереноса в условиях неполных и динамически изменяющихся данных» выполнена на кафедре информационно-измерительной техники ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

В период подготовки диссертации Япарова Н.М. с 2013 по 2016 гг. работала в должности доцента кафедры прикладной математики ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ). В 2017 г. переведена на должность доцента кафедры вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)». С 2018 г. по настоящее время занимает должность заведующего кафедрой вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)». В 2013 г. Япарова Н. М. зачислена соискателем ученой степени доктора технических наук при кафедре прикладной математики ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) (приказ № 1898 от 22.08.2013). В 2016 г. переведена соискателем на кафедру информационно-измерительной техники ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» (приказ № 1510 от 20.09.2016 г.).

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Принцип невязки и его применение к численному моделированию некоторых обратных задач математической физики» Япарова Н.М. защитила в 2007 году в диссертационном совете Д 212.296.02, созданном при ГОУ ВПО «Челябинский государственный университет» (диплом кандидата наук ДКН № 033081 от 13 июля 2007г.). В 2017 году присвоено ученое звание доцента (аттестат доцента ЗДЦ №010371 от 06.12.2017 г.).

Научный консультант – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники ФГАОУ ВО «ЮУрГУ

(НИУ)» Шестаков Александр Леонидович (приказ № 1510 от 20.09.2016 г.).
Изменение темы диссертации утверждено Ученым советом ФГАОУ ВО
«ЮУрГУ (НИУ)» (протокол № 5 от 28.01.2019 г.).

По результатам рассмотрения диссертации Япаровой Н.М. «Методы и алгоритмы обработки информации в системах контроля и прогнозирования процессов теплопереноса в условиях неполных и динамически изменяющихся данных» принято следующее **заключение:**

Актуальность темы

Диссертационная работа Япаровой Н. М., направленная на создание методов обработки информации по определению теплового состояния объекта в условиях неопределенности, основанных на разработанных в диссертации моделях и методах решения обратных задач теплопереноса с исходными данными, сформированными из результатов граничных измерений, является актуальной и нацелена на решение проблемы повышения эффективности производственных процессов.

Эффективная реализация современных энергозатратных технологических процессов, связанных с теплопереносом, требует повышения точности теплотехнических расчетов и оптимизации тепловых режимов. Контроль за реализацией выбранного режима и тепловым состоянием объекта осуществляется с помощью средств измерения, расположенных вблизи поверхности объекта. Ограничения, связанные с недоступностью внутренних точек объекта для проведения непосредственных измерений и дальнейшего прямого воздействия, приводят к тому, что исходная информация для определения теплового состояния объекта формируется из результатов измерений, выполненных вблизи его поверхности. В силу этого, математические модели теплопереноса представлены обратными задачами для уравнения теплопроводности, а небольшие погрешности в исходных данных служат источником существенных отклонений в результатах теплотехнических расчетов, что приводит к потере точности.

В этой связи цель и задачи диссертационной работы, ориентированной на разработку методов и алгоритмов обработки информации, основанных на базовых положениях теории управления системами с распределенными параметрами, теории обратных задач, позволяющих по результатам поверхностных измерений получать значения требуемых распределенных

поверхностных измерений получать значения требуемых распределенных параметров в условиях неполных и динамически изменяющихся исходных данных с контролируемым уровнем точности, приобретают важное значение.

Соответствие содержания диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа Япаровой Н.М. соответствует следующим областям исследования паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)»: П.1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; П.3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; П.4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; П.5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; П.6. Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации; П.11. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности сложных систем.

Структура работы, содержание её основных разделов, научные положения, выводы и результаты диссертационного исследования, а также оформление текстовой части и формул в полной мере соответствуют требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям по техническим наукам.

Диссертация изложена научным языком, математические выкладки и формулы выполнены вполне корректно. Расчеты и обоснования соответствуют логике изложения материала. Рисунки и таблицы в достаточной мере иллюстрируют текст диссертации.

Личное участие автора в получении научных результатов

Текст диссертационной работы Япаровой Н.М. не содержит заимствований без ссылок на первоисточники, а также результатов исследований, выполненных в соавторстве, без соответствующего упоминания авторов. Из совместных работ в диссертацию включены только результаты, принадлежащие лично автору.

Достоверность результатов исследования

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием научных положений теории и методов решения обратных задач, теории теплопереноса, операционного исчисления, аппаратом конечно-

анализа. Основные положения диссертационного исследования докладывались на международных конгрессах, авторитетных международных и всероссийских научно-технических конференциях. Достоверность полученных результатов диссертационной работы также подтверждается актами внедрения, свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ, представленных в приложении к диссертации.

Научная новизна полученных результатов диссертационного исследования

1. Разработаны модели процессов теплопереноса, методы и алгоритмы обработки результатов граничных измерений в объектах с постоянными теплофизическими характеристиками и известным начальным тепловым состоянием, позволяющие реализовать явную зависимость искомых распределенных параметров от тепловых функций, известных вблизи поверхности объекта.

2. Предложен единый подход к численному решению обратных задач теплопроводности с неизвестными начальными условиями, связанных с прогнозированием влияния выбранного управляющего режима внешнего теплового воздействия на формирование температурных полей при линейном и нелинейном теплопереносах в объектах с неизвестным начальным тепловым состоянием.

3. Разработаны вычислительные алгоритмы решения обратных задач линейного теплопереноса с неизвестными начальными условиями, служащие основой методов обработки информации о результатах граничных температурных измерений, позволяющих прогнозировать температуру во внутренних точках при линейном теплопереносе в объектах с неизвестным начальным тепловым состоянием.

4. Разработаны вычислительные алгоритмы решения обратных задач нелинейного теплопереноса с неизвестными начальными условиями, служащие основой для методов обработки результатов граничных температурных измерений, позволяющих прогнозировать температуру во внутренних точках при нелинейном теплопереносе в объектах с неизвестным начальным тепловым состоянием.

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. Обоснована его оптимальность по порядку.

6. Построен единый метод определения температуры по результатам обработки первичных измерений сопротивлений, формирующий избыточную информацию, необходимую для оценки точности и качества измерений. Предложены алгоритмы оценки точности и качества измерений, основанных на обработке избыточной информации в процессе работы.

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в создании новых моделей, представленных интегральными уравнениями, характеризующим явную зависимость искомых температур или функций внутреннего источника от граничных измерений в объектах с известным начальным тепловым состоянием; в разработке, исследовании методов и алгоритмов решения линейных и нелинейных обратных задач с неизвестными начальными условиями, служащих основой для методов обработки результатов граничных измерений для прогнозирования температурных полей в объектах с неизвестным начальным тепловым состоянием; в разработке новых алгоритмов обработки результатов измерений сопротивлений, используемых для формирования температурных значений в исходных данных обратных задач и позволяющих проводить качественную оценку результатов измерений.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования определяется тем, что его основные положения, предложенные модели, методы и алгоритмы создают основу для разработки методов и алгоритмов обработки информации в системах контроля и прогнозирования процессов теплопереноса в условиях неполных и динамически изменяющихся данных. Полученные результаты используются при разработке рекомендаций по выбору и регулированию настраиваемых параметров температурных режимов, реализуемых в системах контроля и управления тепловым состоянием, при формировании и оптимизации технического регламента технологических процессов, связанных с теплопереносом.

Полученные в работе результаты использованы при выполнении НИР по проекту "Разработка, исследование и реализация алгоритмов обработки данных динамических измерений пространственно-распределенных объектов" (в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки РФ, техническое задание 8.9692.2017/8.9 от 17.02.2017), при обработке данных, предоставленных SMS GROUP, на ЧЭРЗ АО "ЖЕЛДОРРЕММАШ", в Промышленной Группе "Метран", на ООО «Челябинский компрессорный завод». Соответствующие

акты внедрения результатов диссертационного исследования представлены в приложении к диссертации.

Ценность и полнота изложения материалов диссертации

По теме диссертации автором работы опубликовано 43 научных труда, в том числе: 15 публикаций в изданиях из Перечня ВАК, 10 статей в журналах и материалах конференций, индексируемых в Scopus и Web of Science, 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научные статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, включенных в перечень ВАК:

1. Япарова Н.М. О различных подходах к решению обратных граничных задач тепловой диагностики // Вестник ЮУрГУ. Серия: Математика. Механика. Физика. - 2012. Т. 7. - №34(293) - С. 60-67
2. Япарова Н.М., Шестаков А.Л., Белоусов М.Д. Использование регуляризующего алгоритма для определения коэффициентов в задаче оценки собственного состояния термометров сопротивления // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2012. - Вып. 17. - №35(294). - С. 45-49.
3. Белоусов М.Д., Шестаков А.Л., Япарова Н.М. Оценка собственного состояния термометров сопротивления // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. - 2012. - Вып. 17. - №35 (294). - С. 105-109.
4. Япарова Н.М. Численное моделирование решений обратной граничной задачи теплопроводности // Вестник ЮУрГУ. Серия: Математическое моделирование и программирование. - 2013. - Т. 6. - №3. С. - 112-124.
5. Япарова Н.М. Об оптимальном по порядку методе решения задачи параметрической идентификации при оценке собственного состояния средств измерения // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2013. - Т. 18. - Вып. 5. - С. 2759-2761.
6. Япарова Н.М. Программное обеспечение и алгоритмы обработки информации при калибровке термометров сопротивления / Программные продукты и системы. - 2014. - №1. - С. 180-184.
7. Солодуша С.В., Япарова Н.М. Численное решение обратной граничной задачи теплопроводности с помощью уравнений Вольтерра I рода // Сибирский журнал вычислительной математики. - 2015. - Т. 18. - №3. С. 327-335.

8. Япарова Н.М. Численный метод решения некоторых обратных задач теплопроводности с неизвестными начальными условиями // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2015. – Т.15.– №2. – С.55-65.

9. Япарова Н.М. Метод решения многомерных обратных граничных задач параболического типа без начальных условий // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2015. – Т.15. – №2.– С. 97-108.

10. Япарова Н.М. Метод решения одной обратной задачи идентификации функции источника для систем с распределенными параметрами // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2015. – Т.20. – №5. – С. 1549-1552.

11. Япарова Н.М. Численный метод решения обратной задачи с неизвестными начальными условиями для нелинейного параболического уравнения // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2016.–Т.5. – №2. – С. 43-58. – DOI: 10.14529/cmse160204.

12. Япарова Н.М. Метод решения обратной задачи идентификации функции источника с использованием преобразования Лапласа // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2016. – Т. 5 – №3. – С. 20-35. – DOI: 10.14529/cmse160302.

13. Япарова Н.М., Солодуша С.В. О точности численных методов решения уравнений Вольтера I рода в задачах теплопереноса // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2019. – Т.19 - №1. - С. 20-29. - DOI: 10.14529/ctcr190102.

14. Япарова Н.М. Метод прогнозирования температурного состояния цилиндра при термообработке в условиях неполной исходной информации // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника – 2019. – Т.19 – №2. – С. 54-65. – DOI: 10.14529/ctcr190205.

15. Япарова Н.М., Гаврилова Т.П. Интегральная модель и численный метод определения температуры при линейном теплопереносе // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника-2019.– Т.19-№4.-С.60-71.-DOI: 10.14529/ctcr190406.

Научные статьи, опубликованные в журналах списка Scopus, Web of Science:

16. Yaparova N. Numerical Methods for Solving a Boundary Value Inverse Heat Conduction Problem // Inverse Problems in Science and Engineering. 2014. - Vol. 22. Issue 5. P. 832-847.
17. Yaparova N., Shestakov A.L. Methods of calculating temperature values and estimating errors for identification of the state of temperature transducers // 21st IMEKO World Congress on Measurement in Research and Industry. 2015. P. 8.-12.
18. Yaparova N. Mathematical modelling and method for solving a parametric identification problem for self-calibration measuring devices//Inverse Problems in Science and Engineering.2016.Vol.24.Issue1. P.77-91.
19. Yaparova N., Shestakov A.L. Method for temperature measuring inside a cylindrical body based on surface measurements // 14th IMEKO TC10 Workshop on Technical Diagnostics: New Perspectives in Measurements, Tools and Techniques for Systems Reliability, Maintainability and Safety. 2016. P. 8-12.
20. Yaparova N. Method for temperature measuring in the rod with heat source under uncertain initial temperature // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) IEEE Conference Publications.2016.P.1-4. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911716.
21. Yaparova N. Method for solving the problem of nonlinear heating a cylindrical body with unknown initial temperature // Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences: AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1895, 110011. DOI: 10.1063/1.5007417. - <http://dx.doi.org/10.1063/1.5007417>.
22. Yaparova N., Drozin A. Method for internal heat source identification in a rod based on indirect temperature measurements//2nd International Conference Ural Conference on Measurements. IEEE Xplore. 2017.P. 93-98. DOI:10.1109/ ICIEAM. 2016.7911716.
23. Yaparova N. Numerical method for solving an inverse boundary problem with unknown initial conditions for parabolic PDE using discrete regularization // Lecture Notes in Computer Science. Vol. 10187. 2017. P.752-759. DOI: 10.1007/978-3-319-57099-0-87.
24. Solodusha S., Yaparova N. Numerical solutions of dynamic measurement challenges by volterra equations // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. IEEE Xplore. 2018.8729132.DOI:10.1109/ ICIEAM. 2018.8729132.
25. Yaparova N., Gavrilova T. Mathematical modeling and method for solving an inverse heat conduction problem via the Volterra equation // Application of

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

1. Япарова Н.М. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Программно-вычислительный комплекс для обработки информации при оценке собственного состояния термометров сопротивлений» № 2013614596 от 18.01.2013.

2. Япарова Н.М. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Программно-вычислительный комплекс для обработки информации при калибровке термометров сопротивлений» № 2013613515 от 13.02.2013.

3. Япарова Н.М. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Программно-вычислительный комплекс моделирования граничной тепловой функции для однородного стержня при решении обратной граничной задачи теплопроводности с начальными данными» № 2013660232 от 09.09.2013.

4. Япарова Н.М. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа моделирования распределения одномерного теплового режима на границе при неизвестных начальных условиях» № 2014614775 от 12.03.2014.

5. Япарова Н.М. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа моделирования функции распределения по времени плотности тепловых потоков, связанных с выделением (поглощением) тепла внутри тела в одномерной обратной задаче об определении источника для параболического уравнения с возмущенными граничными условиями» №2015615653 от 26.03.2015.

6. Япарова Н.М. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа моделирования тепловой функции внутри области и на внешних границах при решении многомерной обратной граничной задачи для параболического уравнения с неизвестными начальными условиями и граничными условиями известными на части границы» №2015616527 от 23.04.2015

7. Япарова Н.М. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа моделирования тепловой функции внутри цилиндрической области и на внешних границах при решении обратной граничной задачи для нелинейного параболического уравнения с неизвестными начальными условиями» № 2015660117 от 06.08.2015.

В диссертацию включены только результаты, полученные Япаровой Н.М. лично, они не затрагивают интересы соавторов в представленных публикациях.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Работа представляет собой самостоятельно выполненное завершенное научно-квалификационное исследование, в котором получены важные научные и практические результаты, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и источник заимствования.

Диссертация «Методы и алгоритмы обработки информации в системах контроля и прогнозирования процессов теплопереноса в условиях неполных и динамически изменяющихся данных» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры информационно-измерительной техники ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Присутствовали: Ларионов В.А., д-р техн. наук, доц., профессор кафедры ИнИТ; Некрасов С.Г., д-р техн. наук, профессор кафедры ИнИТ; Шестаков А.Л., д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой ИнИТ; Усачев Ю.А., канд. техн. наук, проф., профессор кафедры ИнИТ; Алешин Е.А., канд. техн. наук, доц., доцент кафедры ИнИТ; Богатенков С.А., канд. техн. наук, доц. доцент кафедры ИнИТ ; Бушуев О.Ю., канд. техн. наук, доцент кафедры ИнИТ; Волосников А.С., канд. техн. наук, доцент кафедры ИнИТ; Кацай Д.А., канд. техн. наук, доц., доцент кафедры ИнИТ; Константинов В.И., доцент кафедры ИнИТ; Лапин А.П., канд. техн. наук, доц., и.о. заведующего кафедрой ИнИТ; Лысенко Ю.В., канд. техн. наук, доц., доцент кафедры ИнИТ; Паламарчук Л.Н., канд. пед. наук, доц., доцент кафедры ИнИТ; Рагозин А.Н., канд. техн. наук, доц., доцент кафедры ИнИТ; Юрасова Е.В., канд. техн. наук, доц., доцент кафедры ИнИТ; Лысова А.А., доцент кафедры ИнИТ ; Сухарев А.М., доцент кафедры ИнИТ; Аверина Н.Ю., ст. преп. кафедры ИнИТ; Габбасова О.П., ст. преп. кафедры ИнИТ; Мальцева Н.А., ст. преп. кафедры ИнИТ; Пашнин С.В., ст. преп. кафедры ИнИТ; Шаршина С.В., ст. преп. кафедры ИнИТ; Белова И.И., заведующий лабораторией кафедры ИнИТ.

Приглашенные: Зюляркина Н.Д., д-р физ.-мат. наук, доц., профессор кафедры защиты информации; Логиновский О.В., д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой информационно-

аналитическое обеспечение управления в социальных и экономических системах; Прокудина Л.А., д-р физ.-мат. наук, доц., профессор кафедры вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений; Суховилов Б.М., д-р техн. наук, ст. научный сотрудник, заведующий кафедрой информационные технологии в экономике; Тележкин В.Ф., д-р техн. наук, проф., профессор кафедры инфокоммуникационных технологий; Голлай А.В., канд. хим. наук, доцент кафедры информационно-аналитическое обеспечение управления в социальных и экономических системах ЮУрГУ; Коржова М.Е., канд. пед. наук, доц., доцент кафедры вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений; Комиссарова Л.А., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры математического анализа и методики преподавания математики; Кудрявцев К.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений; Плотникова Н.В., канд. техн. наук, доц., заместитель по научной работе директора высшей школы электроники и компьютерных наук; Соколинская И.М., канд. физ.-мат. наук, доц., доцент кафедры вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений; Табаринцева Е.В., канд. физ.-мат. наук, доц., доцент кафедры вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений; Турлакова С.У., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры вычислительной математики и высокопроизводительных вычислений.

Результаты голосования: «за» – 35 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 1 чел., протокол № 05 от «06» марта 2020 г.

Председательствующий, канд. техн. наук, доц.,
и. о. заведующего кафедрой,
доцент кафедры ИНИТ
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

А.П. Лапин

Доктор техн. наук, профессор
кафедры ИНИТ
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

С.Г. Некрасов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования РФ Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76, телефон: (351) 267-90-01, e-mail: init174@yandex.ru

*Людмила Лапина
Некрасова С.Г.
Удостоверено*

Катя или еще ИИТ

