

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,

доктор технических наук, профессор

 А.А. Дьяконов

«15» 03 2018 г.



### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Диссертация «Численно-аналитические методы и алгоритмы исследования математических моделей оптимальных динамических измерений с учетом помех» выполнена на кафедре уравнений математической физики.

В период подготовки диссертации соискатель Худяков Юрий Владимирович работал в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в Управлении научной и инновационной деятельности в должности инженера с 2012 по 2015 годы, затем с 2015 года по настоящее время – в малом инновационном предприятии ЮУрГУ «ИНТАОР» в должности инженера-программиста, и с 2017 года по настоящее время – тьютором кафедры прикладной математики и программирования. Соискатель

в 2011 году поступил и в 2014 году окончил очную аспирантуру при кафедре уравнений математической физики ЮУрГУ.

В 1998 году окончил Южно-Уральский государственный технический университет по специальности электрооборудование автомобилей и тракторов.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2018 г. Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Шестаков Александр Леонидович, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Тема диссертации утверждена советом механико-математического факультета ЮУрГУ от 19 декабря 2011 г, протокол № 4.

По результатам рассмотрения диссертации «Численно-аналитические методы и алгоритмы исследования математических моделей оптимальных динамических измерений с учетом помех» принято следующее заключение:

*Актуальность темы диссертации*

Тема диссертации относится к современному направлению научных исследований в области динамических измерений, которое возникло в результате совместной работы двух научных школ – профессора А.Л. Шестакова и профессора Г.А. Свиридюка – и заключается в новом оригинальном подходе к восстановлению динамически искаженных сигналов. В качестве модели измерительного устройства рассматривается система леонтьевского типа с начальным условием Шоуолтера–Сидорова, а для достижения близости значений виртуальных наблюдений и наблюдений реального датчика применены методы теории оптимального управления. В результате определяемое виртуальное измерение – входящий сигнал модели



является решением математической задачи оптимального управления, а получаемое при этом оптимальное динамическое измерение наиболее точно отражает входящий сигнала датчика.

Численное исследование задач оптимального динамического измерения с разработкой алгоритмов программ проведено в работах Е.И. Назаровой и А.В. Келлер. В них рассмотрены модели оптимальных динамических измерений, учитывающие только инерционность измерительного устройства.

Однако, при изучении динамических измерений необходимо учитывать не только собственные динамические свойства объектов, но и параметры внешних возмущений, помех при измерении и наблюдении. Таким образом, актуальной является разработка численных методов и алгоритмов программ для исследования математических моделей оптимальных динамических измерений с учетом детерминированных помех.

#### *Новизна результатов*

В области математического моделирования: в диссертационной работе впервые: предложена методика представления математической модели сложной измерительной системы, содержащей несколько измерительных устройств, в виде системы леонтьевского типа, позволяющей учитывать связи между устройствами в виде алгебраических уравнений; проведено исследование математической модели оптимального динамического измерения с детерминированными помехами (резонансами) на выходе измерительного устройства, математической модели оптимального динамического измерения с детерминированными помехами при известной форме измеряемой величины, математической модели оптимального динамического измерения с детерминированными помехами (резонансами) на выходе и в цепях измерительного устройства, потребительского потока на основе балансовой модели предприятия и оптимального динамического измерения продаж. Исследована разрешимость задач оптимального динамического измерения в рамках исследования указанных математических

моделей. Показано значение множества допустимых измерений в математической модели оптимального динамического измерения.

В области численных методов: модифицированы численные методы решения задач оптимального управления для систем леонтьевского типа: приближенное оптимальное динамическое измерение находится в виде тригонометрических полиномов, в связи с этим переработаны все процедуры численного метода; введено новое условие критерия останова алгоритма, связанное со множеством допустимых измерений, при этом допускается использование ограничений множества допустимых измерений на различных временных промежутках в пределах основного интервала измерений. Показана сходимость модифицированного численного метода решения задачи оптимального динамического измерения с учетом инерционности и резонансов в цепях измерительного устройства.

В области комплекса программ: разработан программный комплекс, позволяющий: проводить вычислительные эксперименты как на модельных, так и реальных данных; применять указанные модели; использовать методы параллельных вычислений в процедуре поиска оптимального измерения.

#### *Теоретическая и практическая значимость результатов*

Значимость результатов обусловлена решением актуальной задачи динамических измерений – восстановление динамически искаженного сигнала – с применением современного математического аппарата. Полученные результаты развивают теории оптимальных динамических измерений, уравнений соболевского типа, оптимального управления и межотраслевого баланса. Разработанные численные методы позволяют применять распараллеливание вычислений, что создает основу для дальнейшего развития моделирования в технике и экономике с использованием задач динамического измерения.

Применение предложенной методики моделирования сложных измерительных систем позволит расширить применимость разработанных численно-аналитических методов как при конструировании различных слож-



ных систем с различным числом сенсоров, так и при их калибровке и корректировке. Представленные результаты вычислительных экспериментов свидетельствуют об адекватности проведенного математического моделирования и эффективности выбранного численного метода решения задач оптимального измерения с учетом инерционности и помех различной природы, что создает основу для дальнейшего развития численных исследований моделей динамических систем. Предложенный алгоритм позволил повысить эффективность программы по количеству затрачиваемого на поиск решения машинного времени по сравнению с ранее используемыми, при этом показана сходимость приближенных решений к точному.

*Степень достоверности результатов проведенных соискателем исследований*

Достоверность научных результатов и выводов обеспечены корректным использованием методов математического моделирования, согласованием результатов вычислительных экспериментов с модельными примерами; объемом апробации и представления этапов работы на научных конференциях и семинарах. Результаты и выводы не противоречат ранее полученным результатам других авторов.

*Ценность научных работ соискателя ученой степени*

Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК Минобрнауки РФ:*

1. Худяков, Ю.В. Алгоритм численного исследования модели Шестакова – Свиридюка измерительного устройства с инерционностью и резонансами / Ю.В. Худяков // Математические заметки ЯГУ. – 2013. –Т. 20, № 2. – С. 211 – 221 (ВАК).
2. Худяков, Ю.В. Распараллеливание алгоритма решения задачи оптимального измерения с учетом резонансов / Ю.В. Худяков // Вестник

ЮУрГУ. Серия: математическое моделирование и программирование. – 2013. – Т. 6, № 4. – С. 122 – 127 (ВАК, ZbMath).

3. Шестаков, А.Л. Динамические измерения в пространствах «шумов» / А.Л. Шестаков, Г.А. Свиридюк, Ю.В. Худяков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 4 - 11 (ВАК).
4. Khudyakov, Yu.V. On adequacy of the mathematical model of the optimal dynamic measurement / Khudyakov Yu.V. // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2017. – Т. 4, № 2. – С. 14-25. (ВАК, ZbMath, MatSciNet)

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science:*

5. Shestakov, A.L. The Numerical Algorithms for the Measurement of the Deterministic and Stochastic Signals / A.L. Shestakov, G.A. Sviridyuk, A.V. Keller, Y.V.Khudyakov // Book series: Springer Proceedings in Mathematics conference: Semigroups of Operators: Theory and Applications. 2015. – P. 183-195 (Scopus, WoS).
6. Shestakov, A.L. Dynamic Measurements in the View of the Group Operators Theory / A.L. Shestakov, G.A. Sviridyuk, Y.V.Khudyakov // Book series: Springer Proceedings in Mathematics conference: Semigroups of Operators: Theory and Applications. 2015. – P. 273 - 286 (Scopus, WoS).

*Свидетельства о регистрации программ*

7. Худяков, Ю.В. Программа вычисления решения задачи оптимального измерения с резонансами (OptMsrR Programm): свидетельство 2013619053 / Келлер А.В., Худяков Ю.В. (RU); правообладатель ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» – 2013618862; заявл. 31.07.2013; зарегистр. 24.09.2013, Реестр программ для ЭВМ.

*Другие публикации*

8. Худяков, Ю.В. Об измерении белого шума в модели Шестакова – Свиридюка / Ю.В. Худяков // Измерения: состояние, перспективы



- развития: тез.докл. междунар. науч.-практ. конф., г. Челябинск, 25-27 сент. 2012 г. В 2 т. – Челябинск, 2012. – Т. 1. – С. 240 - 241.
9. Худяков, Ю.В. Об общем подходе к оптимальному измерению в технических и экономических приложениях / Ю.В. Худяков // Междунар. летняя математическая школа памяти В.А. Плотникова.: тез.докл., г. Одесса, 15-22 июня 2013 г. – Одесса, 2013 – С. 97.
  10. Худяков, Ю.В. Модели Шестакова – Свиридюка с резонансом / Ю.В. Худяков // Дифференциальные уравнения функциональные пространства теория приближений: Тез.докл. г Новосибирск, 18-24 августа 2013 г., – Новосибирск, 2013. – С. 285.
  11. Сагадеева М.А. Об оптимальном измерении для модели измерительного устройства с учетом детерминированного мультипликативного воздействия / М.А. Сагадеева, Ю.В. Худяков // Труды XII всероссийского совещания по проблемам управления Россия, Москва, ИПУ РАН, 16-19 июня 2014 г., – Москва, 2014. – С. 2240-2245.
  12. Шестаков А.Л. Оптимальные измерения детерминированных и стохастических сигналов / А.Л. Шестаков, Г.А. Свиридюк, Ю.В. Худяков // Труды XII всероссийского совещания по проблемам управления Россия, Москва, ИПУ РАН, 16-19 июня 2014 г., – Москва, 2014. – С. 1231-1242
  13. Худяков, Ю.В. Численный анализ математической модели Шестакова – Свиридюка с инерционностью и резонансами / Ю.В. Худяков // Метрология и метрологическое обеспечение: Сборник докладов 23-го Национального научного симпозиума с международным участием, г. Созополь. Болгария, 9-13 сентября 2014 г. – София, 2014. – С. 107 - 110.
  14. Khudyakov, Y.V. On Mathematical modeling of the Measurement Transducers / Y.V. Khudyakov // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2016. – Vol. 3, № 3. – P. 68 – 73 (ZbMath).

В диссертацию включены только результаты, полученные Худяковым Ю.В., они не затрагивают интересы соавторов в представленных

публикациях. Научному руководителю принадлежит общая постановка задачи исследования.

*Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов,  
изложенных в диссертации*

Диссертант лично и самостоятельно разрабатывал теоретические положения, методику и алгоритмы, выносимые на защиту. Худяковым Ю.В. проведен анализ степени разработанности проблемы, написан программный комплекс, проведены вычислительные эксперименты, разработаны рекомендации, апробированы научные результаты, подготовлены публикации по теме исследования, оформлен текст диссертации. Результаты, полученные им лично и выносимые на защиту, приведены в следующем разделе.

*Соответствие диссертации паспорту специальности*

На защиту выносятся результаты диссертационного исследования, соответствующие следующим пунктам паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ:

- в рамках *развития качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей (п.2)* качественно исследован класс математических моделей оптимального динамического измерения, позволяющий рассмотреть различные случаи детерминированных помех в технических и экономических задачах динамических измерений; разработан метод математического моделирования сложных измерительных систем с приведением примера такого устройства, реализующего итерационный принцип в динамических измерениях; проведено исследование значимости множества допустимых измерений в процессе решения задач динамических измерений;
- в рамках *разработки, обоснования и тестирования эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий (п.3)* разработан численный метод решения задач оптимального измерения с учетом инерционности ИУ и помех различной природы,



показана сходимость получаемых приближенных решений к точному; предложена схема распараллеливания основной вычислительной процедуры; - в рамках *реализации эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента (п.4)* разработан программный комплекс, написанный на языке программирования C++; проведены вычислительные эксперименты, подтверждающие эффективность предложенных алгоритмов и адекватность проведенного моделирования.

Таким образом, оригинальные результаты получены в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ, а исследуемые модели относятся к различным предметным областям. Это позволяет сделать вывод о соответствии диссертации паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

Диссертация «Численно-аналитические методы и алгоритмы исследования математических моделей оптимальных динамических измерений с учетом помех» Худякова Юрия Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заключение принято на заседании кафедры уравнений математической физики Южно-Уральского государственного университета.

**ПРИСУТСТВОВАЛИ:** зав. кафедрой Свиридюк Г.А., д.ф.-м.н, профессор; профессор Кадченко С.И., д.ф.-м.н, профессор; профессор Манакова Н.А., д.ф.-м.н, доцент; доцент Закирова Г.А., к.ф.-м.н., доцент;

доцент Бычков Е.В., к.ф.-м.н., доцент; доцент Шафранов Д.Е., к.ф.-м.н., доцент; доцент Самаров А.Б., к.ф.-м.н., доцент; доцент Корицова М.А., к.ф.-м.н., доцент; доцент Загребин М.А., к.ф.-м.н., доцент; ст. преподаватель Гаврилова О.В., ассистент Конкина А.С., ассистент Васючкова К.В., инженер Брычев С.В., к.ф.-м.н.

**ПРИГЛАШЕНЫ:** зав.кафедрой информационно-измерительной техники ЮУрГУ Шестаков А.Л., д.т.н., профессор; директор Института естественных и точных наук ЮУрГУ Келлер А.В., д.ф.-м.н., доцент;

Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол № 8 от «14» марта 2018 г.



Свиридюк Георгий Анатольевич,

доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
уравнений математической физики

Федеральное государственной автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Россия, 454080, г. Челябинск, пр. им В.И. Ленина, 76, [www.susu.ru](http://www.susu.ru)

[sviridyuka@susu.ru](mailto:sviridyuka@susu.ru)

тел.: +7 351 267-93-39

факс: +7 351 267-99-00



Подпись Свиридюка Г.А. достоверно  
Заститель начальника УРК  
Начальник отдела кадров К.И.И.  
Минакова Н.С.