

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.017.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ СИСТЕМ
ЭНЕРГЕТИКИ ИМ. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18.06.2019 г. № 7

О присуждении Солодуша Светлане Витальевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация **«Методы построения интегральных моделей динамических систем: алгоритмы и приложения в энергетике»** по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 12 марта 2019 г. (протокол № 4) диссертационным советом Д 003.017.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, совет создан приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель **Солодуша Светлана Витальевна**, 1970 года рождения, в 1992 году окончила Иркутский государственный университет по специальности «Прикладная математика», в 2014 году освоила программу магистратуры по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника» в Иркутском государственном техническом университете. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Построение интегральных моделей нелинейных динамических систем с помощью рядов Вольтерра» защитила в 1996 году в диссертационном совете Д 063.32.04, созданном на базе Иркутского государственного университета.

В настоящее время работает ведущим научным сотрудником в отделе прикладной математики Федерального государственного бюджетного учреждения

науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе прикладной математики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, доцент Апарцин Анатолий Соломонович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, отдел прикладной математики, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Воскобойников Юрий Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», кафедра прикладной математики, заведующий кафедрой;

Сизиков Валерий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», факультет программной инженерии и компьютерной техники, профессор факультета;

Чистяков Виктор Филимонович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория дифференциальных уравнений и управляемых систем, главный научный сотрудник, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, **в своем положительном отзыве**, подписанном Бахтадзе Натальей Николаевной, доктором технических наук, профессором, заведующим лаборато-

рией «Идентификация систем управления», и утвержденным Новиковым Дмитрием Александровичем, доктором технических наук, профессором, членом-корреспондентом Российской академии наук, директором, указала, что диссертационная работа Солодуша С.В. выполнена на актуальную тему и обладает внутренним единством, по своему содержанию, результатам и оформлению является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненного автором комплекса исследований получены новые достоверные научные результаты, имеющие существенное значение для науки и практики. Совокупность результатов диссертационного исследования, полученных лично автором, можно квалифицировать как новый значительный вклад в выбранное научное направление по решению проблем разработки математического, алгоритмического и программного обеспечения для численного моделирования нелинейной динамики локальных устройств тепло- и электроэнергетики во временной области с помощью полиномов Вольтерра. Основные результаты, выносимые на защиту, прошли серьезную апробацию, полностью опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, и соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Диссертация полностью отвечает всем требованиям и критериям действующего Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней», которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор, Солодуша Светлана Витальевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Соискатель имеет 85 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 36 научных статей (включая 15 работ без соавторов), из них в рецензируемых научных изданиях – 25 работ, в трудах конференций, входящих в системы цитирования Scopus или Web of Science, – 11 работ. Другие публикации по теме диссертационной работы представлены в виде 3 статей в других рецензируемых иностранных журналах и 5 авторских свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Авторский вклад соискателя в опубликованных работах оценивается как определяющий. У диссертанта

отсутствует конфликт интересов с соавторами по публикациям и свидетельствам о государственной регистрации программ для ЭВМ. Из совместных работ в диссертацию включены лишь те результаты, которые непосредственно принадлежат соискателю. Заимствования, не отмеченные ссылками, отсутствуют.

Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. Solodusha S.V. Numerical Solution of a Class of Systems of Volterra Polynomial Equations of the First Kind / S.V. Solodusha // Numerical Analysis and Applications. – 2018. – Vol. 11. – № 1. – P. 89-97.
2. Solodusha S.V. A Numerical Solution of One Class of Volterra Integral Equations of the First Kind in Terms of the Machine Arithmetic Features / S.V. Solodusha, I.V. Mokry // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. – 2016. – Vol. 9. – № 3. – P. 119-129.
3. Solodusha S.V. Numerical Solving an Inverse Boundary Value Problem of Heat Conduction Using Volterra Equations of the First Kind / S.V. Solodusha, N.M. Yaparova // Numerical Analysis and Applications. – 2015. – Vol. 18. – № 3. – P. 267-274.
4. Solodusha S.V. Modeling Heat Exchangers by Quadratic Volterra Polynomials / S.V. Solodusha // Automation and Remote Control. – 2014. – Vol. 75. – № 1. – P. 87-94.
5. Solodusha S.V. Applications of Nonlinear Volterra Equations of the First Kind to the Control Problem for Heat Exchange Dynamics / S.V. Solodusha // Automation and Remote Control. – 2011. – Vol. 72. – № 6. – P. 1264-1270.
6. Solodusha S.V. A class of systems of bilinear integral Volterra equations of the first kind of the second order / S.V. Solodusha // Automation and Remote Control. – 2009. – Vol. 70. – № 4. – P. 663-671.
7. Solodusha S.V. Test signal amplitude optimization for identification of the Volterra kernels / A.S. Apartsin, S.V. Solodusha // Automation and Remote Control. – 2004. – Vol. 65. – № 3. – P. 464-471.
8. Solodusha S.V. Mathematical Simulation of Linear Dynamic Systems by Volterra Series / A.S. Apartsin, S.V. Solodusha // Engineering Simulation. – 2000. – Vol. 17. – № 2. – P. 143-153.
9. Solodusha S.V. Integral Models for Control of Smart Power Networks / K.V. Suslov, S.V. Solodusha, D.O. Gerasimov // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – Vol. 498. – № 27. – P. 439-444.

10. Solodusha S.V. A New Algorithm for Construction of Quadratic Volterra Model for a Non-Stationary Dynamic System / S.V. Solodusha, K.V. Suslov, D.O. Gerasimov // IFAC-PapersOnLine. – 2015. – Vol. 48. – № 11. – P. 982-987.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы.

1. Отзыв доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» Данеева Алексея Васильевича. Замечания в отзыве связаны с вопросами о вычислительных затратах при использовании авторского пакета прикладных программ «Динамика», а именно: значениями затрат оперативной памяти и данных по времени расчетов при решении задач идентификации и восстановления входного сигнала при моделировании нелинейной динамики теплообменников на высокотемпературном контуре Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ВТК ИСЭМ) СО РАН, участка энергоблока Назаровской ГРЭС мощностью 135 МВт и ВЭУ с горизонтальной осью вращения.

2. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры прикладной математики и дифференциальных уравнений ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова» Булдаева Александра Сергеевича и доктора технических наук, профессора, профессора этой же кафедры Мижидона Арсалана Дугаровича. Отзыв без замечаний.

3. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Института механики Национальной академии наук Республики Армения Барсегяна Вани Рафаеловича и доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника этого же института Шекияна Гамлета Гургеновича. Отзыв без замечаний.

4. Отзыв доктора технических наук, профессора, ректора ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Шестакова Александра Леонидовича. Замечания в отзыве связаны с отсутствием на 19 странице автореферата пояснений по выбору вида экстремальной задачи, а также тестовой динамической системы (10), отклик которой является частичной суммой экспоненциального ряда.

5. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора, члена-корреспондента РАН, главного научного сотрудника ФГБУН Институт матема-

тики и механики имени Н.Н. Красовского УрО РАН Васина Владимира Васильевича. Отзыв без замечаний.

6. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора, профессора с возложенными обязанностями заведующего кафедрой математической теории моделирования систем управления ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» Поляковой Людмилы Николаевны. Замечание в отзыве касается полноты описания программно-вычислительного комплекса, приведенного на странице 33 автореферата, а именно: каким образом реализованы имитационные модели вида (3)-(5).

7. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Высшая и прикладная математика» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» Бойкова Ильи Владимировича. Замечание связано с отсутствием на страницах 20, 27, 35 автореферата количественных оценок точности моделирования.

8. Отзыв доктора технических наук, члена-корреспондента РАН, заведующего лабораторией электроэнергетики Института электрофизики и электроэнергетики РАН Чубраевой Лидии Игоревны. Замечания касаются вопроса о том, что понимается под результатами тестирования ПВК «Динамика» на имитационных моделях (3)-(5), отсутствия описания реализации моделей (3)-(5) на 34 странице автореферата и лаконичного описания моделирования динамики процессов ВЭУ на 33 странице.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области математического и компьютерного моделирования технических устройств (в том числе в энергетике), их высокой научной компетентностью в сфере исследования обратных задач динамики, близостью решаемых ими научных задач к задачам по теме диссертационной работы, а также способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция моделирования динамических систем с векторным входным сигналом с помощью полиномов Вольтерра во временной области, базирующаяся на теоретическом развитии методов, моделей и алгоритмов, реа-

лизирующих двухэтапный подход к численному моделированию переходных процессов системы автоматического регулирования нелинейной динамики объектов тепло- и электроэнергетики;

предложены оригинальная методика декомпозиции отклика, основанная на априорном учете необходимых условий разрешимости многомерных уравнений Вольтерра I рода в соответствующих классах функций; принципиально новый подход к идентификации полиномов Вольтерра для векторного входного сигнала, основанный на восстановлении интегралов от ядер и обобщении численного метода Product Integration на многомерный случай; численные алгоритмы решения полиномиальных интегральных уравнений Вольтерра I рода и их систем для решения задачи восстановления входных сигналов, выполнена их реализация применительно к объектам тепло- и электроэнергетики; построены численные алгоритмы решения нового класса линейных интегральных уравнений Вольтерра I рода типа свертки, связанного с граничной обратной задачей теплопроводности (ОЗТ);

доказана эффективность предложенных численных методов идентификации и восстановления входного сигнала путем их всестороннего тестирования;

введены и исследованы специальные классы полиномиальных уравнений Вольтерра I рода второй и третьей степени и их систем, связанные с задачей восстановления входных воздействий.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, расширяющие научные представления об особенностях решения задач непараметрической идентификации и восстановления входного сигнала, сформулированных в виде интегральных уравнений Вольтерра I рода, в которых получены условия существования решений специальных двух- и трехмерных интегральных уравнений Вольтерра I рода в требуемых классах функций и неулучшаемые оценки некоторых нелинейных интегральных неравенств;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых численных методов исследования, в том числе дискретизационные методы регуляризации интегральных уравнений Вольтерра I рода, методы решения систем алгебраических уравнений второго порядка, итерационный метод Ньютона-Канторовича;

изложены полученные автором стадии построения интегральных моделей на основе квадратичного и кубического полиномов Вольтерра в случае векторных входных воздействий, включая использование априорной информации об амплитудах тестовых сигналов в виде комбинаций функций Хевисайда с отклоняющимся аргументом, алгоритмы декомпозиции отклика динамического объекта на составляющие, дискретизация, апостериорный анализ нестационарных свойств динамических объектов;

раскрыт практический потенциал применения численных методов для восстановления ядер Вольтерра с помощью квадратур средних прямоугольников и идентификации интегралов от ядер Вольтерра с помощью метода Product Integration;

изучена специфика полиномиальных уравнений Вольтерра I рода, что позволило разработать алгоритмы определения начального приближения для численного решения некоторых классов полиномиальных уравнений Вольтерра I рода и их систем методом Ньютона-Канторовича;

проведена модернизация методов идентификации полиномов Вольтерра для случая векторного входа с помощью специальных семейств кусочно-постоянных сигналов; алгоритмов численного решения полиномиальных уравнений Вольтерра I рода, возникающих в задаче восстановления скалярного входного сигнала.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены методика построения интегральных моделей в виде квадратичных и кубических полиномов Вольтерра для моделирования нелинейной динамики вращательного движения лопастей ветрогенератора во временной области (акт об использовании методики от 05.03.2018), алгоритмы идентификации и восстановления входного сигнала с помощью полиномов Вольтерра применительно к динамике элементов теплообменной установки и их программная реализация в виде вычислительного комплекса «Динамика» для построения и тестирования динамических моделей с векторными входными сигналами (акт об использовании в учебном процессе от 15.05.2018; свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015660174, № 2013618929, № 2012614246);

определены перспективы расширения областей практического использования результатов диссертационного исследования, представляющего собой новые эффективные методики, математические модели, вычислительные алгоритмы, универсальные модули ПВК «Динамика», результативность применения которых подтверждена при тестировании различных динамических систем типа «вход-выход», в том числе для электрообогреваемого участка установки ВТК ИСЭМ СО РАН и участка модели энергоблока Назаровской ГРЭС мощностью 135 МВт; **создана** система практических рекомендаций для численного решения нового класса уравнений Вольтерра I рода, связанных с граничной ОЗТ, которая дополняет известные методы обработки данных динамических измерений и использовалась в рамках базовой части Государственного задания «Разработка, исследование и реализация алгоритмов обработки данных динамических измерений пространственно-распределенных объектов» (акт внедрения от 22.05.2018); **представлены** рекомендации и предложения по использованию диссертационного исследования к дальнейшему внедрению и совершенствованию вычислительных технологий при построении инструментально-технологических сред для поддержки моделирования систем автоматического управления динамикой локальных устройств тепло- и электроэнергетики.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с применением аттестованного измерительного оборудования и современных методик обработки исходной информации;

теория развивает фундаментальные работы российских и зарубежных авторов в области математического и компьютерного моделирования нелинейных динамических систем, обосновывается привлечением разделов вычислительной математики, теории дифференциальных и интегральных уравнений, теории некорректных задач, аппарата функционального анализа, линейной алгебры и комбинаторики;

идея базируется на результатах анализа современного состояния исследований на стыке областей, посвященных моделированию и идентификации нелинейных динамических процессов типа «вход-выход», приложениям интегральных уравнений вольтеровского типа, методам построения математических моделей динамики элементов тепло- и электроэнергетических установок; обобщении передо-

вого опыта в области построения и практического использования математических моделей на основе полиномов Вольтерра;

использовано сопоставление авторских результатов с известными результатами применительно к классическим интегральным уравнениям Вольтерра I рода; сравнение с численными результатами других авторов в сопоставимых условиях; верификационный принцип моделирования с привлечением независимых результатов вычислительных и физических экспериментов, а также данных для апробированных имитационных моделей;

установлено, что полученные автором теоретические результаты доказаны на современном уровне математической строгости; результаты вычислительных экспериментов и выводов согласуются с результатами, полученными другими авторами по теме диссертации;

использованы процедуры дискретизации интегральных операторов (квадратуры средних (правых) прямоугольников и метод Product Integration), обладающие свойством саморегуляризации (h -регуляризации Апарцина-Бакушинского); универсальные пакеты символьных вычислений; современные подходы тестирования численных методов и комплексов программ, учитывающие влияние на вычислительные процессы входных негладких возмущений и ошибок округлений.

Личный вклад соискателя состоит в: формулировании цели и постановки задач; обосновании методов их решения; изложении основных теоретических положений; построении математических моделей на основе полиномов Вольтерра; построении компьютерной имитационной модели ВЭУ с горизонтальной осью вращения; разработке и применении устойчивых эффективных вычислительных методов; создании на основе предложенных методов, моделей и алгоритмов ПВК «Динамика»; проведении вычислительных экспериментов применительно к имитационным моделям радиационных теплообменников и ВЭУ; обработке и интерпретации экспериментальных данных для электрообогреваемого участка установки ВТК ИСЭМ СО РАН; реализации вычислительного эксперимента на основе данных для участка модели энергоблока Назаровской ГРЭС мощностью 135 МВт; подготовке основных публикаций по выполненной работе и личном участии в апробации основного содержания диссертации на международных и всероссийских конференциях.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, где на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новый значительный вклад в выбранное научное направление по решению проблем математического, алгоритмического и программного обеспечения для численного моделирования локальных устройств тепло- и электроэнергетики во временной области с помощью полиномов Вольтерра. Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация «Методы построения интегральных моделей динамических систем: алгоритмы и приложения в энергетике» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям и критериям, установленным пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 01.10.2018 г.), которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук.

На заседании 18.06.2019 года диссертационный совет принял решение присудить Солодуша Светлане Витальевне ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета



Воропай Николай Иванович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Клер Александр Матвеевич

18 июня 2019 г.