

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.04 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.09.2017 № 51

О присуждении Пановскому Валентину Николаевичу, гражданину РФ,
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Интервальные методы оптимизации нелинейных детерминированных динамических систем при неполной информации о состоянии и параметрах объекта» по специальностям 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» принята к защите «19» мая 2017 года, протокол № 45, диссертационным советом Д 212.125.04 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012, об изменении состава диссертационного совета № 628/нк от 07.10.2013, 574/нк от 15.10.2014, № 1339/нк от 29.10.2015, № 710/нк от 21.06.2016, № 1403/нк от 01.11.2016.

Соискатель Пановский Валентин Николаевич, 1992 года рождения, окончил с отличием в 2014 году факультет «Прикладная математика и физика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) по специальности «Прикладная математика».

В августе 2017 года окончил аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего

образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

Работает аналитиком в ООО «Ритейл Рокет» и ассистентом кафедры «Математическая кибернетика» в ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по совместительству.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 805 «Математическая кибернетика» факультета № 8 «Информационные технологии и прикладная математика».

Научный руководитель – заведующий кафедрой 805 «Математическая кибернетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доктор физико-математических наук, профессор Пантелеев Андрей Владимирович.

Официальные оппоненты:

1. Лемак Степан Степанович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной механики и управления Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Москва);

2. Колбин Илья Сергеевич, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (Москва).

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (Санкт-Петербург).

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф-м.н. Лемака Степана Степановича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. Рекомендации по выбору параметров рассмотренных автором методов поиска глобального условного минимума целевой функции носят качественный характер. В работе отсутствует количественное сравнение качества работы алгоритма при изменении параметров.

2. При сравнении работы реализованных автором методов на выборке тестовых функций приводятся данные только о достигнутой точности и нет данных о затраченных ресурсах работы алгоритма и, соответственно, выводов о предпочтении выбора того или иного метода для поиска минимума.

3. В работе утверждается о решении задачи синтеза оптимального управления, хотя при интервальном подходе управление строится только в виде разложения по базисным функциям. Результат оптимизации может сильно зависеть как от размерности набора базисных функций. Автором не приведены рекомендации по выбору требуемого числа базисных функций для формирования структуры оптимального управления.

4. Имеются некоторые шероховатости в оформлении. Так, например, одни и те же обозначения используются и для омега-характеристики бруса и для введенных на стр. 82 компонент множества начальных условий.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, к.ф.-м.н. Колбина Ильи Сергеевича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

1. В первой главе, в разделе 1.4 с. 69-76 проводится тестирование интервальных методов оптимизации на выборе синтетических задач, при этом автор приводит лишь итоговые решения, полученные вычислительными алгоритмами. Было бы целесообразно также предоставить результаты замеров производительности, относительной погрешности для сравнения методов между собой.

2. В заключении по первой главе, с. 77, автор утверждает, что на основе проведенных вычислений, прикладное применение инверсных методов крайне затруднительно, однако непонятно, как это следует из приведенных данных.

3. При описании стратегии поиска алгоритма имитации эволюции колонии бактерий, с. 60, приводятся жесткие правила формирования новой колонии,

возникает вопрос, почему их нельзя вынести в параметры вычислительного алгоритма.

4. В четвертой главе, с. 102-122, диссертации представлены решения задач оптимизации технических систем и управления с помощью разработанных алгоритмов, а также результаты, полученные с использованием других подходов. По представленным результатам можно судить только об относительной точности авторских методов, для полноты было бы желательно сравнить вычислительные сложности методов.

Отзыв на диссертацию ведущей организации.

Ведущая организация дала положительный отзыв на диссертацию. Отзыв подписан: заведующим кафедрой компьютерных технологий и систем СПбГУ, доктором физико-математических наук, профессором Веремеем Евгением Игоревичем; доцентом кафедры компьютерных технологий и систем СПбГУ, доктором физико-математических наук Сотниковой Маргаритой Викторовной. Отзыв утвержден проректором по научной работе СПбГУ, доктором геолого-минералогических наук Аплоновым Сергеем Витальевичем. Замечания по диссертации:

1. В первой главе автором предложена постановка задачи интервальной ε -минимизации (1.2). С нашей точки зрения значимость и особенности именно такой постановки недостаточно поясняются в работе.

2. Первая глава диссертации излишне большая по объему по сравнению с другими главами. Можно было бы ее разбить на две отдельные главы, например, выделив метаэвристические методы в отдельную главу.

3. В постановках задач управления во второй главе отсутствуют внешние возмущения. Можно ли распространить предложенные методы на случай, когда на объект управления действуют возмущения?

4. Введение функционала (2.5), содержащего штрафные функции, не является гарантией выполнения фазовых и терминальных ограничений. Понятно, что весовые множители можно варьировать, регулируя степень выполнения этих ограничений. Тем не менее, автором не указаны рекомендации по поводу выбора этих весовых коэффициентов, в частности для примеров, приведенных в главе 4.

5. В параграфе (2.2) управление с обратной связью формируется в виде суммы (2.15). (Аналогично в п. 2.3). При этом в постановке задачи поиска оптимального управления автор не упоминает о проблеме устойчивости движений в замкнутой системе, которая зависит от выбора искомым параметров.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов.

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА).

Отзыв подписан заведующей кафедрой, доктором техническим наук, доцентом Феоктистовой Оксаной Геннадьевной. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. В приведенном описании программного комплекса уделено мало внимания особенностям реализации абстракций, на основе которых построена логика работы алгоритмов, что не позволяет в достаточной мере проанализировать перспективы дальнейшего развития программного комплекса и его использования в имеющихся вычислительных системах.

2. В автореферате отсутствует информация о существующих интервальных библиотеках.

3. Выбранный способ описания работы алгоритмов не позволяет в полной мере понять суть предлагаемых алгоритмов. Вероятно, было бы более уместно использовать графическое описание вместо текстового.

2. Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (научное, образовательное и производственное учреждение).

Отзыв подписан ведущим научным сотрудником отдела общесистемных исследований, доктором технических наук, профессором Данилюком Сергеем Григорьевичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. Автором не рассмотрена возможность применения альтернативных способов определения интервального расширения функции (используется лишь понятие естественного интервального расширения).

2. В автореферате не отражены аспекты вычислительной сложности разработанных алгоритмов.

3. Не приведена информация о возможности применения разработанного подхода для синтеза управления другими классами динамических систем (например, стохастическими динамическими системами).

3. Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединений «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина» (ПАО «НПО «Алмаз»).

Отзыв подписан начальником отдела ОКБ-1 НТЦ-1 ПАО «НПО «Алмаз», доктором технических наук Красным Владимиром Петровичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. Приведенное описание разработанных автором интервальных алгоритмов не является исчерпывающим. Наверное, автору следовало бы подробно описать хотя бы один алгоритм, а остальные сопроводить графической интерпретацией для облегчения понимания.

2. В автореферате не приведена подробная информация об инвертере (например, способ его реализации). В связи с этим понимание изложенных теорем несколько затруднено.

3. В автореферате не отмечены преимущества и недостатки интервальных методов как поиска глобального минимума, так и оценивания параметров динамических систем.

4. Не приведены критерии выбора границ интервалов при формировании брусков – «векторов интервалов».

5. Разработаны пять алгоритмов глобальной условной оптимизации, однако области и условия их применения не указаны. Поэтому не ясно, почему в разных примерах используются разные алгоритмы.

6. В приведенных прикладных примерах синтеза оптимального управления на графиках не видна «интервальность» полученного решения.

7. В дальнейшем желательно было бы распространить полученные результаты на стохастические динамические системы.

4. Закрытое акционерное общество «Овионт Информ».

Отзыв подписан генеральным директором, кандидатом физико-математических наук Артамоновым Григорием Феликсовичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. В работе отсутствует обзор программных продуктов, реализующие классические алгоритмы оптимизации (например, Matlab, Maple, Mathematica и др.).

2. Не приведены данные о сложности разработанных вычислительных алгоритмов.

3. Не приведена информация о дальнейшем направлении развития работы).

5. Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем».

Отзыв подписан начальником сектора, кандидатом физико-математических наук Скавинской Дарьей Вадимовной. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. Выбранный способ описания разработанных автором интервальных алгоритмов оптимизации не позволяет глубоко понять их суть. Возможно, автору следовало бы заменить текстовое описание на графическое.

2. В автореферате отсутствует информация о подборе параметров предложенных алгоритмов, а также их сравнительный анализ.

6. Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН (ИВМиМГ СО РАН).

Отзыв подписан старшим научным сотрудником, кандидатом физико-математических наук Авериной Татьяной Александровной. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. В тексте автореферата не отражен сравнительный анализ разработанных интервальных алгоритмов глобальной условной оптимизации.

2. Несмотря на достаточно подробный теоретический обзор, в работе отсутствуют сведения о программных продуктах, имеющих отношение к исследуемой области.

**7. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской
академии наук (ФГБУН ИПУ РАН).**

Отзыв подписан ведущим научным сотрудником лаборатории № 68, доктором технических наук, профессором Ульяновым Михаилом Васильевичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

1. К сожалению, в тексте автореферата не приведены данные о временах решения прикладных и тестовых задач в сравнении с неинтервальными методами оптимизации.

2. Для прикладных задач оптимального программного управления и управления пучками траекторий было бы полезно привести сравнительные данные о трудоемкости и/или временных оценках для программных реализаций предложенных инверсных и метаэвристических методов. Автор ограничивается только указанием (см. стр. 8), на то, что «... инверсные алгоритмы характеризуются относительно низкой скоростью работы ... при гарантированных результатах».

3. Автор отзыва считает, что в рамках дальнейшего развития работы большой научный и серьезный практический интерес представляет оценка накопленной ошибки вычислений и исследование влияния этой ошибки на границы получаемых брусов – интервальных результатов решения задач глобальной условной оптимизации.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в области тем, затрагиваемых в диссертационном исследовании.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., профессор Лемак Степан Степанович, – автор более 50 научных статей и 11 книг, значительная часть которых посвящена теории оптимального управления, занимался решением ряда прикладных задач управления и оценивания, в которых часть действующих на управляемую систему возмущений известна с точностью до функционального множества (в частности, решены задачи об оптимальном выборе формы тормозного участка пневмотранспортной системы и задача гарантированного оценивания положения искусственного спутника Земли по измерениям дальности). Принимает активное участие в решении задач, связанных с

созданием математического обеспечения современных стендов для тренировки космонавтов по управлению космическими объектами. Область научных интересов – задачи гарантированного оценивания и управления, динамическая имитация управляемых движений, максиминное тестирование качества управления динамическими системами, формирование математических моделей управляемых систем в технике и биомеханике.

Официальный оппонент, к.ф.-м. н. Колбин Илья Сергеевич – научный сотрудник отдела математического моделирования гетерогенных систем, автор 10 публикаций на тему математического моделирования. Область научных интересов - разработка методов математического моделирования на основе нормализованных радиально-базисных сетей, разработка эффективных численных методов и комплексов программ.

Выбор ведущей организации – ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» – обусловлен широким кругом проводимых научных исследований, объекты которых включают в себя проблемы развития компьютерных технологий для анализа, синтеза, компьютерного моделирования и реализации в реальном времени систем управления динамическими объектами. Основным научным направлением кафедры компьютерных технологий и систем является разработка математических методов и вычислительных алгоритмов оптимизации систем управления и методов их компьютерного моделирования, в том числе синтеза робастных систем и многоцелевых законов управления с обратной связью. Кафедра является официальным коллективным ведущим группы разделов "Оптимальные и робастные системы управления" Всероссийского консультационного центра по математическому пакету MATLAB фирмы MathWorks.

Соискатель имеет 35 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 12 работ в соавторстве, 11 работ опубликованы в изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (в том числе 5 работ, выполненные в соавторстве, опубликованы в журналах, реферируемых

реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science). Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Пановский В.Н., Пантелеев А.В. Метаэвристические интервальные методы поиска оптимального в среднем управления нелинейными детерминированными системами при неполной информации о ее параметрах // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2017. – № 1. С. 44 – 55 (Scopus, Web of Science).

2. Пантелеев А. В., Пановский В. Н. Разработка интервальных метаэвристических методов минимизации для поиска оптимального программного управления // Управление большими системами. – 2016. – № 60. С. 41 – 62(Scopus, Web of Science).

3. Пантелеев А.В., Пановский В.Н., Короткова Т.И. Интервальный метод взрывов и его применение к задаче моделирования и оптимизации движения гиперзвукового летательного аппарата // Вестник Южно-Уральского государственного университета, серия «Математическое моделирование и программирование». – 2016. – Т. 9, № 3. С. 55 – 67 (Scopus, Web of Science).

4. Пантелеев А.В., Пановский В.Н. Прикладное применение интервального метода взрывов для поиска оптимального программного управления солнечным парусом // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2016. № 4. С. 110 – 117 (Scopus, Web of Science).

5. Пантелеев А.В., Пановский В.Н. Применение обобщенного инверсного интервального метода глобальной условной оптимизации в задаче поиска оптимального программного управления // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение» – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, № 1(106). – 2016. С. 33 – 50

6. Пантелеев А.В. Пановский В.Н. Обобщенный инверсный интервальный метод глобальной условной оптимизации // Научный вестник МГТУ ГА, № 207, 2014. С. 17 – 24.

7. Пановский В.Н. Интервальный генетический алгоритм глобальной условной оптимизации // Успехи современной радиоэлектроники. – 2014. - № 4. С. 71 – 75

8. Пановский В.Н. Прикладное применение интервального метода взрывов для решения задачи командной навигации // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. - № 3. С. 207 – 212.

9. Пановский В.Н., Пантелеев А.В. Прикладное применение интервальных методов оптимизации для решения задачи групповой навигации // Успехи современной радиоэлектроники. – 2016. - № 2. С. 177 – 182

10. Panteleev A.V., Panovskiy V.N. Application of Meta-Heuristic Interval Optimization Algorithms to Technical System Design Problems // J. Applied Mathematical Sciences. – 2017 – № 4. P. 153 – 161.

11. Panteleev A., Panovskiy V. Multiagent Self-Organizing Interval Bacterial Colony Evolution Optimization Algorithm // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2016, - V. 450. P. 451 – 463 (Scopus).

Диссертационный совет отмечает, что в выполненном диссертационном исследовании получены следующие **новые научные результаты**:

- **предложена** математическая модель интервальной ε -минимизации;
- **разработаны** интервальные алгоритмы оптимизации на основе инвертера (дихотомии целевого образа, отсечки виртуальных значений, стохастической отсечки виртуальных значений, стохастических вырываний, обобщенный инверсный метод);
- **разработаны** интервальные метаэвристические алгоритмы оптимизации (усредненных концов путей, стохастической сетки, интервального разбросанного поиска, интервальный генетический алгоритм, интервальный метод взрывов, адаптивный интервальный алгоритм, самоорганизующийся интервальный алгоритм имитации эволюции колонии бактерий), доказаны теоремы о свойствах разработанных инверсных методов;
- **разработаны** интервальные алгоритмы поиска оптимального программного управления нелинейными непрерывными детерминированными системами.

– **разработаны** интервальные алгоритмы синтеза оптимального управления с неполной обратной связью и управления по выходу нелинейными непрерывными детерминированными системами;

– **разработан** программный комплекс, реализующий интервальные алгоритмы оптимизации и процедуры их применения для поиска оптимального программного управления, оптимального в среднем управления пучками траекторий с неполной обратной связью и оптимального управления по выходу при неполной информации о состоянии и параметрах объекта с использованием математического моделирования поведения управляемых систем. Комплекс был применен для решения задач оптимизации технических систем (определение оптимальных параметров сварной балки, сосуда высокого давления, редуктора, натяжной/компрессионной пружины) и систем управления авиационно-космической техникой (задачи о преследовании, солнечном парусе, командной навигации, стабилизации спутника, перехвате, управлении гиперзвуковым летательным аппаратом).

Теоретическая значимость исследования заключается в следующем:

– **предложена** постановка задачи интервальной ε -минимизации (обобщенного варианта классической задачи оптимизации);

– **предложен** набор алгоритмов решения задачи интервальной ε -минимизации, использующие аппарат интервального анализа (на основе инвертера и метаэвристические);

– **доказаны** теоремы о свойствах решений, получаемых с помощью интервальных алгоритмов оптимизации, использующих инвертер;

– **выработаны** процедуры применения интервальных алгоритмов оптимизации для решения задач поиска оптимального программного управления и синтеза оптимального управления с неполной обратной связью и управления по выходу нелинейными непрерывными детерминированными динамическими системами.

Практическая значимость работы заключается в том, что были разработаны новые интервальные алгоритмы синтеза оптимального управления нелинейными детерминированными динамическими системами с неопределенностью параметров и начальных условий, которые применимы в

области авиационной и ракетно-космической техники. Создан комплекс программ для решения прикладных задач поиска оптимального управления при помощи интервальных алгоритмов глобальной условной оптимизации. Была произведена государственная регистрация разработанных программ (свидетельства №2015661635, №2016610641), с помощью которых были решены прикладные задачи оптимизации технических систем и управления авиационно-космическими.

Рекомендации для использования результатов. Результаты исследования могут использоваться в высших учебных заведениях в качестве дополнительного теоретического и практического материала для курсов, посвященных интервальному анализу. Разработанное программное обеспечение может быть использовано в организациях промышленности, МО РФ и других, в которых возникает необходимость решения задач оптимизации и синтеза оптимального управления.

Оценка **достоверности** результатов исследования выявила, что результаты, представленные в диссертационной работе, получены путем корректного использования математического аппарата с использованием обоснованных методов исследования, соответствующих поставленной задаче. Достоверность результатов подтверждается проведением моделирования работы разработанного комплекса программ, а также его практическим использованием при решении прикладных задач теории управления движением.

Личный вклад соискателя заключается в разработке постановки задачи интервальной ε -минимизации и интервальных алгоритмов оптимизации, а также их реализация в виде программного комплекса на языке C#. Кроме того, разработанные методы были апробированы автором при решении трех классов задач оптимального управления.

Диссертационный совет считает, что диссертационная работа Пановского Валентина Николаевича является самостоятельно выполненной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи поиска оптимального управления нелинейными непрерывными детерминированными динамическими системами при неполной информации о

состоянии и параметрах объекта. Диссертация удовлетворяет пункту 9 постановления Правительства РФ №842 от 24.09.2013 “О порядке присуждения ученых степеней”.

На заседании «29» сентября 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Пановскому В.Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 4 доктора наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 8 докторов наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19, против 1, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета
Д 212.125.04, д.ф.-м.н., доцент



А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.04, к.ф.-м.н., доцент



Н. С. Северина

И.о. начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина

