

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО
«Санкт-Петербургский государственный
университет», профессор



2017 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организацией на диссертацию Пановского Валентина Николаевича по теме «Интервальные методы оптимизации нелинейных детерминированных динамических систем при неполной информации о состоянии и параметрах объекта», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук 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)».

Диссертация Пановского В.Н. посвящена разработке интервальных алгоритмов глобальной условной оптимизации для решения задач оптимального управления нелинейными детерминированными динамическими системами при неполной информации о состоянии и параметрах модели объекта управления и измерительной системы. В прикладных задачах управления авиационной и ракетно-космической техникой, как правило, требуется учитывать

неопределенность задания начальных условий, параметров моделей объектов управления, неполноту и неточность информации, получаемой от измерительных устройств. В связи с этим в работе рассматриваются неопределенности, описываемые брусами – векторами, компоненты которых представляются интервалами. Тема работы направлена на развитие методов оптимального управления с неполной обратной связью, в которых учитываются неопределенности указанного типа. **Актуальность** темы работы определяется необходимостью развития существующих и разработки новых методов синтеза оптимального управления, обеспечивающих высокое качество, эффективность и надежность функционирования замкнутых систем при наличии неопределенностей.

Главной целью работы является создание комплекса интервальных алгоритмов глобальной условной оптимизации и методов его применения для решения задач синтеза оптимального управления нелинейными непрерывными детерминированными динамическими системами при неполной информации о параметрах модели объекта управления и измерителя.

Диссертация изложена на 141 странице, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы и приложения. Текст диссертации написан ясным языком, хорошо структурирован и логично оформлен.

Во введении приведены сведения об известных приближенных методах синтеза оптимального управления непрерывными детерминированными динамическими системами, а также о различных алгоритмах интервальной условной и безусловной оптимизации, объясняется актуальность проведенных исследований, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе предложена постановка задачи интервальной ϵ -минимизации и описана ее связь с классической задачей нелинейного программирования.

приведены подробные описания двух классов интервальных алгоритмов глобальной условной оптимизации, разработанных автором (инверсных и метаэвристических).

К задаче интервальной ε -минимизации впоследствии сводятся все проблемы синтеза оптимального управления различных классов. Важно отметить, что данная задача является новой математической моделью в рассматриваемой области.

Автор подробно описывает группу предложенных им инверсных методов. Данные алгоритмы используют инвертер – процедуру генерации прообраза для функции по заданному целевому интервалу. Главным достоинством этой группы методов является наличие сформулированных и доказанных автором теорем о точности решения. Приведенные доказательства используют особенности постановки задачи интервальной ε -минимизации, свойства интервальных расширений функций и инвертера.

Далее подробно изложены разработанные метаэвристические интервальные методы глобальной условной оптимизации. Каждый алгоритм сопровожден описанием на уровне эвристик и подробным пошаговым описанием. Отдельно следует отметить интервальный генетический алгоритм, при разработке которого автор не только адаптировал оригинальную схему алгоритма, но и предложил два способа кодирования для интервальных вычислений (в том числе тернарное кодирование). В последнем алгоритме этой группы автор реализовал свойства адаптивности и самоорганизации, что, несомненно, является достоинством работы, так как область применения таких алгоритмов шире в связи с тем, что отсутствует необходимость тонкой настройки параметров.

В заключительном разделе главы автор приводит результаты применения всех разработанных алгоритмов к общепринятым набору типовых тестовых задач. Полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой эффективности предложенных в работе методов оптимизации.

Во второй главе предложены методы приближенного решения трех классов задач оптимального управления, в которых применяются разработанные в первой главе интервальные алгоритмы глобальной условной оптимизации. Наиболее общая постановка задачи соответствует проблеме нахождения оптимального управления по выходу нелинейными детерминированными динамическими системами при интервальной неопределенности в параметрах модели объекта управления и модели измерений. Рассмотрены частные случаи: задача поиска оптимального программного управления и задача поиска оптимального в среднем управления пучками траекторий при условии, что в управлении используется только время и часть координат вектора состояния, доступная измерению.

Автором разрабатываются методы оптимизации, использующие идею параметрического задания искомых законов управления и нахождения неизвестных параметров с помощью аппарата интервального анализа. Следует отметить особенность исследуемого класса задач, когда автор рассматривает наличие интервальных неопределенностей в задании начального состояния, параметров объекта управления и измерителя, которые задаются брусами (интервальными векторами).

В третьей главе приведено описание структуры комплекса программ, в котором реализованы алгоритмы и процедуры, описанные в предыдущих главах. Также представлены иллюстрации, демонстрирующие функционирование созданного комплекса.

В четвертой главе решены модельные и прикладные задачи оптимизации. Условно их можно разделить на две группы: задачи оптимизации технических систем (во всех рассмотренных примерах оптимизируемая функция и ограничения нелинейные) и синтеза оптимального управления. Большинство рассмотренных задач имеют непосредственное отношение к авиационной и ракетно-космической отрасли.

В первой группе решены общепринятые модельные задачи определения оптимальных параметров сварной балки, сосуда высокого давления, редуктора, натяжной/компрессионной пружины. Приведены результаты сравнительного анализа применения всех разработанных методов по сравнению с известными методами. Полученные данные подтверждают эффективность предложенных методов.

Во второй группе решены прикладные задачи: о межпланетной миссии, реализуемой с помощью управления положением солнечного паруса; о посадке гиперзвукового летательного аппарата; о преследовании цели перехватчиком; о командной навигации (имеется несколько целей и перехватчиков); о стабилизации спутника. При решении задач автор демонстрирует эффективность всех созданных алгоритмов путем их взаимного сравнения и анализа близости к известным результатам.

В заключении перечислены основные итоги диссертационной работы, сформулированы результаты, выносимые на защиту. Представленные в работе результаты сопровождены понятными рисунками и таблицами.

В приложении более подробно описаны базовые понятия и процедуры интервального анализа (правила интервальной арифметики, интервальные расширения функций, инвертеры).

Все результаты работы сопровождены как описанием идеи или стратегии, которые лежат в основе метода, так и подробным пошаговым описанием алгоритма с рекомендациями по выбору используемых параметров. Для алгоритмов, использующих инвертер, приведены теоремы о точности решения и соответствующие доказательства, а для метаэвристических алгоритмов – результаты их работы, которые сравнивались с известными решениями, полученными с помощью других методов. Отсюда можно сделать вывод о достоверности результатов диссертационной работы.

Основным результатом диссертационного исследования являются разработанные новые интервальные методы синтеза оптимальных нелинейных непрерывных детерминированных динамических систем в условиях неполной информации. Рассматриваемая работа включает в себя подробное пошаговое описание всех созданных алгоритмов и их реализацию в виде комплекса программ, который применен для решения различных прикладных задач в области авиационной и ракетно-космической техники.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что ее теоретические результаты (постановки задач и пошаговые описания алгоритмов и процедур) могут быть использованы для дальнейшего развития области совместного применения теории оптимизации и интервального анализа, и их приложений в теории управления, а практические результаты (разработанное программное обеспечение) являются эффективным инструментом для решения разнообразных прикладных задач.

На основании изложенного материала можно констатировать следующие основные результаты, определяющие **научную новизну** работы:

1. Предложена новая постановка задачи оптимизации в терминологии интервального анализа (задача интервальной ε - минимизации).
2. Разработаны новые интервальные методы глобальной условной оптимизации двух типов (основывающиеся на инвертере и метаэвристические).
3. Разработаны методики применения интервальных методов оптимизации для синтеза оптимального управления в нескольких классах функций: кусочно-непрерывных, кусочно-постоянных и в виде разложения по некоторой базисной системе функций, зависящих от времени, от координат вектора состояния, доступных измерению, и от координат вектора выхода.

4. Разработан комплекс программ, реализующий созданные алгоритмы и процедуры. Созданная структура программного комплекса позволяет производить модификацию и доработку реализованных методов.

Рекомендации по использованию результатов диссертации:

Результаты диссертации могут быть использованы для решения прикладных задач синтеза оптимального управления летательными аппаратами, а также других задач, которые могут быть сведены к задаче нелинейного программирования. Результаты могут быть использованы в организациях и учебных заведениях, занимающихся вопросами теории оптимизации сложных систем. В частности, полученные автором результаты могут быть использованы при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в таких организациях как ФГУП ГосНИИАС, ПАО «НПО «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина», АО «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики», АО «НПО им. С. А. Лавочкина», ПАО «Компания «Сухой», ПАО «Туполев», АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение».

Замечания по работе:

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 искомых параметров.

Перечисленные замечания не снижают общее положительное впечатление о работе. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на хорошем математическом уровне. Автор диссертации является автором и соавтором 11 статей, опубликованных в журналах из списка научных журналов, рекомендованных ВАК. Основные положения, выносимые на защиту, полностью отражены в публикациях. Автореферат соответствует содержанию текста диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Пановский Валентин Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук 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)».

Отзыв обсужден и принят единогласно на заседании кафедры компьютерных технологий и систем ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» 15 июня 2017 г., протокол № 8.

Отзыв составлен:

Заведующий кафедрой компьютерных технологий и систем СПбГУ,
доктор физико-математических наук, профессор



Евгений Игоревич Веремей

e-mail: e.veremey@spbu.ru, тел.: +7(812) 428-44-76

Доцент кафедры компьютерных технологий и систем СПбГУ,
доктор физико-математических наук



Сотникова Маргарита Викторовна

e-mail: m.sotnikova@spbu.ru, тел.: +7(812) 428-44-76

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Адрес организации: 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9.

Тел.: +7(812) 428-44-76, e-mail: e.veremey@spbu.ru.

Приложение №2
к письму от 07.04.2017 № 01-119-950

Сведения о лице, утверждающем отзыв ведущей организации

Фамилия, имя, отчество	Аплонов Сергей Витальевич
Ученая степень и отрасль науки, научные специальности, по которым им защищена диссертация	Доктор геолого-минералогических наук 01.04.12 – геофизика Геолого-минералогические науки
Наименование организации, являющееся основным местом работы, должность	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Правительства Российской Федерации. Проректор по научной работе. Профессор кафедры геофизики.

Верно

Директор Центра экспертиз

З.В. Мыскова

