

## ОТЗЫВ

Официального оппонента Лемака Степана Степановича 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)».

**Актуальность темы исследования.** Тема диссертационной работы Пановского В.Н. относится к нескольким областям математики: интервальному анализу, теориям оптимизации и управления. В работе рассмотрены важные задачи создания вычислительно эффективных алгоритмов оптимизации и синтеза оптимального управления в условиях информационной неопределенности. Эти задачи относятся к одному из основных направлений в современной теории управления. Следует отметить, что проблема поиска управления с обратной связью по измеряемым выходным переменным является одной из традиционно трудных. Все это в совокупности делает тему исследования актуальной.

**Основные научные результаты.** Для решения поставленных в диссертационной работе задач автором был разработан широкий спектр интервальных методов глобальной условной оптимизации и процедура их применений для решения задач оптимизации технических систем и синтеза оптимального управления.

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Разработаны интервальные алгоритмы оптимизации двух видов (основывающиеся на инвертере и метаэвристические алгоритмы),
2. Разработаны интервальные алгоритмы поиска оптимального управления для трех классов задач оптимального управления: оптимального программного управления, оптимального управления пучками траекторий при неполной информации о состоянии, оптимального в среднем управления по выходу.
3. Разработан программный комплекс, реализующий предложенные диссертантом алгоритмы и процедуры, который протестирован на решении прикладных задач авиационной и ракетно-космической техники.

Перечисленные результаты являются новыми и принадлежат соискателю.

**Теоретическое значение и прикладное значение** полученных результатов состоит в развитии аппарата интервального анализа для решения задач поиска условного глобального экстремума функций многих переменных. Разработанные автором алгоритмы сопровождены подробным пошаговым описанием, что делает возможным их реализацию в виде комплекса программ (это является необходимым, если по каким-то причинам отсутствует возможность использовать созданное автором программное обеспечение). Все утверждения (теоремы и соответствующие следствия), приводимые в диссертационном исследовании, снабжены доказательствами, проводимыми в рамках принятых стандартов строгости. Разработанное программное обеспечение может использоваться для решения задач синтеза оптимальных нелинейных детерминированных динамических систем управления в условиях информационной неопределенности.

**Достоверность** положений диссертации подтверждается строгостью приведенных математических доказательств, корректным применением математических методов, компьютерным моделированием и сравнением с имеющимися научными результатами.

**Практическая ценность** проведенного диссертационного исследования заключается в созданном комплексе программных средств, с помощью которого возможно решение прикладных задач оптимизации технических систем и синтеза оптимального управления для трех классов задач (оптимального программного управления, оптимального управления пучками траекторий, оптимального управления по выходу при неполной информации о состоянии и параметрах объекта).

**Апробация и публикация основных результатов в научной печати.** Полученные автором результаты прошли апробацию на международных конференциях и научных семинарах. Результаты диссертации отражены в 11 публикациях в журналах из списка ВАК, выполнена государственная регистрация двух программ для ЭВМ.

**Достиинства и недостатки по содержанию и оформлению.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения и списка литературы, включающего 125 наименований. Общий объем диссертационной работы составляет 141 стр. Диссертация качественно оформлена, снабжена достаточным количеством иллюстраций. Структура работы логична и отвечает задачам исследований.

Во введении дается обзор известных интервальных методов безусловной и условной оптимизации, а также применения интервальной математики для решения задач оптимального управления. Автор приводит справочную информацию об интервальном анализе и его истории,

а также об областях теории оптимизации и теории управления, которые связаны с тематикой диссертационного исследования.

В первой главе приводятся описания основных используемых понятий интервального анализа, сформулирована разработанная автором постановка задачи интервальной  $\varepsilon$ -минимизации. Предлагаемая интервальная постановка задачи является естественным продолжением задачи нелинейного программирования. В интерпретации автора, задача нелинейного программирования может быть рассмотрена как частный случай задачи интервальной  $\varepsilon$ -минимизации. Во втором и третьем разделах этой главы описаны созданные интервальные алгоритмы глобальной условной оптимизации двух типов (инверсные и метаэвристические).

При описании группы инверсных методов автор начинает с наиболее простого алгоритма, заканчивая обобщенной модульной версией. В конце этого раздела Пановский В.Н. приводит постановки и доказательства теорем о точности решения, полученного с помощью этих алгоритмов, которые свидетельствуют о гарантированности достижения результата с помощью выполняемых процедур оптимизации.

В разделе, посвященном метаэвристическим интервальным алгоритмам оптимизации, автор поясняет стратегии алгоритмов и приводит их подробное пошаговое описание. В этом разделе присутствуют, как созданные автором алгоритмы, так и адаптированные версии известных метаэвристических алгоритмов (например, интервальная версия генетического алгоритма).

Последняя часть первой главы посвящена апробации разработанных алгоритмов на общепринятом наборе тестовых функций. Так же в этом разделе приведено сравнение полученных результатов с известными аналитическими решениями.

Во второй главе приведены описания алгоритмов применения созданных методов оптимизации для решения трех классов задач синтеза оптимального управления. Автор приводит три постановки задачи (по степени их сложности), начиная с задачи поиска оптимального программного управления, заканчивая синтезом оптимального в среднем управления пучками траекторий и оптимальным в среднем управлением по выходу в условиях информационной неполноты (т.е. наличия неопределенностей при задании параметров моделей объекта и измерений). Для решения этих задач автором предлагается искать управление в виде кусочно-постоянной или кусочно-линейной интервальной функции, а также в виде разложения по различным системам базисных функций. С помощью вводимой параметризации задача

поиска оптимального управления сводится к конечномерной задаче интервальной  $\epsilon$ -минимизации. Таким образом, получаемое управление будет субоптимальным.

Третья глава посвящена описанию структуры разработанного программного комплекса, его основным блокам, а также демонстрации работы для разных постановок задач.

В четвертой главе приведены результаты апробации созданных алгоритмов и программного комплекса на задачах оптимизации технических систем и синтеза оптимального управления. Автором преимущественно рассматриваются задачи, связанные с авиационной и ракетно-космической отраслью. Решаются задачи перехвата, преследования, командной навигации, стабилизации спутника, управления солнечным парусом и посадкой гиперзвукового летательного аппарата.

В заключительной части перечислены положения работы, выносимые на защиту.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

В целом диссертация оставляет хорошее впечатление. Основные результаты работы опубликованы и прошли апробацию. Вместе с тем по тексту диссертационной работы имеются следующие замечания:

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.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, которая является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне.

**Заключение по работе.** На основе проведенного анализа диссертации можно заключить, что она является законченной научно-квалификационной работой. Считаю, что диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» и соответствует паспортам специальностей 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)». Автор диссертации, Пановский Валентин Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по указанным специальностям.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор кафедры  
прикладной механики и управления Федерального  
государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Московский  
государственный университет имени М.В.Ломоносова»  
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

25.07.2017

Лемак Степан Степанович

Телефон: +7 (905) 504-06-37

E-mail: lemaks2004@mail.ru

Подпись Лемака Степана Степановича заверяю:

И.о.декана механико-математического факультета МГУ,

профессор

В.Н. Чубариков

