



**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор ФИЦ ИУ РАН

Соколов И.А.

12 января

2022 г.

## Заключение

Федерального исследовательского центра "Информатика и управление" Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН).

Диссертационная работа **Усова Александра Леонидовича** «Использование кусочно-линейных ограничивающих функций в одномерной глобальной оптимизации», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 - «Дискретная математика и математическая кибернетика» (физико-математические науки), выполнена в Федеральном государственном учреждении "Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук".

В период подготовки диссертации соискатель ученой степени **Усов Александр Леонидович** работал в отделе прикладных проблем оптимизации в должности инженера-исследователя ФИЦ ИУ РАН.

В 1994 г. соискатель закончил Иркутский Государственный Технический Университет по специальности городское хозяйство и строительство, а в 2016 г. Московский Государственный Университет им. Ломоносова по направлению подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика».

С 2016 по 2020 год проходил обучение в очной аспирантуре ФИЦ ИУ РАН по специальности 05.13.17 - «Теоретические основы информатики». Справка о сдаче экзаменов кандидатского минимума выдана в 2021 г. в ФИЦ ИУ РАН.

Научный руководитель - д.ф.-м.н. Посыпкин Михаил Анатольевич - работает в должности заместителя директора по научной работе ФИЦ ИУ РАН.

По итогам обсуждения диссертации «Использование кусочно-линейных ограничивающих функций в одномерной глобальной оптимизации» было **принято следующее заключение.**

**Тема диссертации является актуальной** для развития методов глобальной одномерной оптимизации. В частности был разработан оригинальный авторский метод построения кусочно-линейных оценок функций.

**Целью диссертационного исследования** является разработка эффективных методов одномерной глобальной оптимизации на основе кусочно-линейных оценок целевой функций. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать теоретические основы построения кусочно-линейных оценок
2. На основе разработанной теории создать алгоритмы построения кусочно-линейных оценок

3. Разработать метод решения задач глобальной одномерной оптимизации на основе кусочно-линейных оценок
4. Разработать программный комплекс для решения задач глобальной одномерной оптимизации с использованием интервальных, Липшицевых и кусочно-линейных оценок
5. Провести экспериментальные исследования эффективности разработанного метода глобальной оптимизации.

**Основные результаты диссертации:**

1. Разработана теория алгебраических операций над кусочно-линейными оценками и теория синтеза кусочно-линейных оценок композиции функций.
2. Предложен новый метод автоматического синтеза кусочно-линейных оценок функции одной переменной, заданной в виде выражения над элементарными функциями.
3. Разработан метод детерминированной глобальной оптимизации функции одной переменной, основанный на предложенных оценках.
4. Проведено исследование эффективности разработанных оценок и методов глобальной оптимизации, показавшее их приоритет по отношению к классическим интервальным и Липшицевым подходам.
5. Разработан программный комплекс, в котором реализованы все разработанные оценки и методы глобальной оптимизации.

Все *результаты диссертации получены лично соискателем* при научном руководстве д.ф.-м.н. Посыпкина М. А.

**Научная новизна работы** определяется тем, что впервые был предложен метод построения нижних и верхних кусочно-линейных оценок одномерной функции на основе ее алгебраического представления, показавших более высокую точность по сравнению с оценками других типов. При этом на целевую функцию не накладывается обязательное условие дифференцируемости, выпуклости (вогнутости) и не требуется знание константы Липшица. На основе предложенных оценок разработан новый метод глобальной оптимизации функции одной переменной, превосходящий существующие аналоги на многих тестовых примерах.

**Практическая значимость** данной работы состоит в следующем:

1. разработан алгоритм построения кусочно-линейных миноранты и мажоранты функции, позволяющий гарантированно оценивать диапазон ее изменения, что может иметь широкое применение для решения задач глобальной оптимизации, систем алгебраических уравнений и ряда других задач;
2. на основе разработанных кусочно-линейных оценок и правил редукции создан новый метод глобальной одномерной оптимизации;
3. разработан программный комплекс на языке программирования C++, включающий наборы тестовых задач глобальной оптимизации, поддержку автоматического вычисления значений функции, ее производной, а также их интервальных и кусочно-линейных оценок;
4. разработанный программный комплекс применен для решения задачи аппроксимации рабочих областей роботов параллельной структуры.

**Научная ценность** данной работы состоит в разработке теории кусочно-линейных оценок функций одной переменной, включающей в себя: методы



построения кусочно-линейных оценок для суперпозиции функций, определение базовых арифметических операций над такими оценками, доказательстве базовых свойств и условий непрерывности кусочно-линейных оценок для суперпозиции функций.

**Обоснованность и достоверность результатов и выводов** подтверждена экспериментальной проверкой реализованных методов, публикациями результатов исследований в рецензируемых научных изданиях, в том числе рекомендованных ВАК. Результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях.

**Материалы диссертации опубликованы автором достаточно полно** в следующих работах:

1. Posypkin M., Usov A. Implementation and verification of global optimization benchmark problems // Open Engineering. — 2017. — Т. 7, No 1. — С. 470—478.
2. Малышев Д., Посыпкин М., Усов А. Анализ рабочей области робота DexTAR-dexterous twin-arm robot // International Journal of Open Information Technologies. — 2018. — Т. 6, No 7.
3. Malyshev D., Posypkin M., Usov A. Approaches to the Determination of the Working Area of Parallel Robots and the Analysis of Their Geometric Characteristics // Engineering Transactions. — 2019. — Т. 67, No 3. — С. 333—345.
4. Усов А. Построение кусочно-линейных оценок для функций одной переменной // International Journal of Open Information Technologies. — 2019. — Т. 7, No 5.
5. Усов А. Построение непрерывных кусочно-линейных границ для композиции функций от одной переменной. // International Journal of Open Information Technologies. — 2021. — Т. 9, No 1.
6. Posypkin M., Usov A., Khamisov O. Piecewise linear bounding functions in univariate global optimization // Soft Computing. — 2020. — С. 1—17.
7. Posypkin M., Usov A. An Object Oriented Library for Computing the Range of the Objective Function // XVII Baikal International School-Seminar "Methods of Optimization and Their Applications". Abstracts. July 31-August 6 (Maksimikha, Buryatia). — Melentiev Energy Systems Institute SB RAS Irkutsk, 2017. — Pp. 58–58.
8. Evtushenko Y., Posypkin M., Usov A. The Global Optimization Approach to Robot's Workspace Determination // XVII Baikal International School-Seminar "Methods of Optimization and Their Applications". Abstracts. July 31-August 6 (Maksimikha, Buryatia). — Melentiev Energy Systems Institute SB RAS Irkutsk, 2017. — Pp. 39–39.
9. Khamisov O., Posypkin M., Usov A. Piecewise Linear Bounding Functions for Univariate Global Optimization // Optimization and Applications / под ред. Y. Evtushenko [и др.]. — Cham : Springer International Publishing, 2019. — С. 170—185. — ISBN 978-3-030-10934-9.

**Личный вклад соискателя** в работах с соавторами заключается в следующем: В работах [1,6,7,9] - постановка задачи и разработка теоретических положений,

реализация алгоритма, проведение вычислительных экспериментов и их анализ. В работах [2,3,8] - разработка программного комплекса, анализ и обработка результатов экспериментов.

Основные результаты, полученные в диссертации, *обсуждались и докладывались* на XVII Байкальской международной школы-семинара «Методы оптимизации и их приложения» (с. Максимиха, Бурятия, 31 Июля - 7 Августа, 2017), VIII Международной Конференции «Оптимизация и Приложения (ОПТИМА-2017)» (Петровац, Черногория, Октябрь 2-7, 2017) и IX Международной Конференции «Оптимизация и Приложения (ОПТИМА-2018)» (Петровац, Черногория, Октябрь 1-5, 2018).

Содержание диссертации *соответствует паспорту специальности 01.01.09 - «Дискретная математика и математическая кибернетика»*, в частности, по пункту 3 - Математическое программирование. Диссертация «Использование кусочно-линейных ограничивающих функций в одномерной глобальной оптимизации» **Усова Александра Леонидовича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности *01.01.09 - «Дискретная математика и математическая кибернетика»*.

Заключение принято на проходившем в очно-заочном режиме 30 ноября 2021 года заседании семинара Отделений 1,2,3 ФИЦ ИУ РАН. Присутствовало на заседании 11 человек. Результаты голосования: «за» - 11 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет. Протокол №1 от 30 ноября 2021 года.

Цурков Владимир Иванович,  
д.ф.-м.н., заведующий отделом  
отдела 31 Отделения 3 ФИЦ ИУ РАН