

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Шмалько Елизаветы Юрьевны

**«Принцип синтезированного оптимального управления
в робототехнических системах»,**

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление
и обработка информации, статистика

На отзыв представлены диссертационная работа и автореферат.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения,
списка литературы из 236 наименований и 3 приложений.

Общий объем диссертации составляет 316 стр.,
включая 26 стр. приложений.

Объем автореферата 46 стр.

Актуальность темы. Диссертационная работа Шмалько Е.Ю. посвящена разработке нового подхода к построению систем оптимального управления робототехническими объектами в автоматическом режиме на основе машинного обучения. Актуальность темы определяется несколькими факторами. Темпы роботизации в стране и мире очень велики и при этом нарастают с каждым днем, в связи с чем востребованы новые подходы к ускорению и автоматизации средств разработки систем управления робототехническими объектами. Применение методов машинного обучения сегодня является основной тенденцией в модернизации и интеллектуализации систем управления. Однако современное состояние исследований в данной области показывает, что в машинном обучении систем управления наблюдается отход от классических задач оптимального управления в терминах нахождения экстремума некоторого заданного критерия качества и преобладание нейросетевых вероятностных подходов, таких, например, как обучение с подкреплением, где управление, выдаваемое контроллером, определяется его политикой, направленной на максимизацию совокупного вознаграждения. Предлагаемый в диссертационной работе методологический подход, названный «принципом синтезированного оптимального управления», основан на формализации задач в тер-

минах теории оптимального управления, а применение предлагаемых алгоритмов машинного обучения на основе символьной регрессии и эволюционных алгоритмов оптимизации позволяет численно решать поставленные задачи, автоматизируя процесс разработки с помощью вычислительных машин. В связи с этим, представленная диссертационная работа Шмалько Е.Ю. является своевременной и актуальной.

Анализ и общая оценка основного содержания диссертационной работы. Основные материалы диссертационной работы представлены в 4 главах.

Введение соответствует традиционной для диссертационных работ схеме и содержит обоснование актуальности работы, формулировки цели и задач исследования, описания научной новизны основных полученных результатов, теоретической и практической значимости работы, а также перечень положений, которые выносятся на защиту.

Первая глава содержит анализ современного состояния области разработки систем управления робототехническими системами, рассмотрены предпосылки к автоматизации процесса разработки систем управления, сформулированы наиболее востребованные постановки задач оптимального управления для робототехнических систем в терминах, удобных для программирования и решения этих задач численными методами, представлен анализ существующих подходов теории оптимального управления к решению поставленных задач.

Вторая глава посвящена разработке двухэтапного методологического подхода к разработке законов управления робототехническими системами, названного «принципом синтезированного оптимального управления». Предлагаемый принцип формулирует положение, которое позволяет в автоматизированном режиме проектировать реализуемые оптимальные системы управления робототехническими объектами с применением современных численных методов машинного обучения. Особое внимание автором уделено вопросу реализуемости получаемых законов управления на реальных робототехнических объектах, введено понятие свойства реализуемости модели объекта, представлено обоснование обеспечения данного свойства у моделей объектов с системами управления, полученным на основе предложенного принципа синтезированного оптимального управления.

Третья глава связана с разработкой методов машинного обучения систем управления на основе символьной регрессии и принципа малых вариаций базисного решения, применённого для модификации таких методов символьной регрес-

сии, как вариационное генетическое программирование, вариационное декартово генетическое программирование, вариационное аналитическое программирование, вариационное полное бинарное генетическое программирование. Автором показано, что при поиске функций управления важно вместе со структурой функции управления искать вектор параметров, входящий в функцию управления. В связи с этим представлен специальный разработанный генетический алгоритм многокритериальной оптимизации на нечисловом пространстве кодов, который позволяет организовывать структурно-параметрический поиск функции управления.

Четвертая глава посвящена вопросам использования разработанных в диссертационной работе методов в различных задачах управления мобильными роботами. Представленные решения задач для объектов и функционалов различной сложности, включая задачи с фазовыми ограничениями, с групповым взаимодействием, демонстрируют эффективность предложенного подхода к автоматической разработке систем управления на основе принципа синтезированного оптимального управления. Автором описаны эксперименты, показывающие, что законы управления, полученные на основе принципа синтезированного управления значительно менее чувствительны к возмущениям модели и начальных условий, чем на основе прямого подхода решения задачи оптимального управления. В диссертационной работе представлены и натурные эксперименты на реальном мобильном роботе с дифференциальным приводом, для которых была разработана специальная прикладная программная реализация ROS-модуля системы управления робота. Автором представлено экспериментальное сравнительное исследование, показывающее возможности применения различных эволюционных алгоритмов глобальной оптимизации при расчетах синтезированного оптимального управления.

В заключении диссертационной работы обобщены теоретические и практические результаты работы.

В приложении приведены 15 свидетельств о регистрации результатов интеллектуальной деятельности и 4 акта о внедрении.

В целом в диссертационной работе разработан новый методологический подход к разработке законов управления, комплекс новых методов и алгоритмов машинного обучения систем управления, предназначенных для применения в задачах управления робототехническими объектами с целью автоматизации процесса разработки и повышения качества разрабатываемых систем

Научная новизна. Результаты, выводы и положения диссертационной работы теоретически обоснованы, имеют практическую значимость и обладают научной новизной. Следует отметить следующие наиболее важные научные результаты.

1. Принцип синтезированного оптимального управления, обеспечивающий получение в автоматизированном режиме законов управления, позволяющих получать решения целевых задач с оптимальным или околооптимальным значением критерия качества, обладающие свойством реализуемости на объекте за счет обеспечения в каждый момент времени существования у объекта устойчивой точки равновесия.

2. Методология двухэтапной реализации принципа синтезированного оптимального управления через синтез системы стабилизации робототехнического объекта относительно точки в пространстве состояний, а далее – через управление изменением положения устойчивой точки равновесия.

4. Разработаны новые численные методы реализации этапов синтезированного оптимального управления средствами эволюционного машинного обучения.

5. Разработаны программные комплексы вариационных методов машинного обучения и эволюционных методов оптимизации, на основе которых решены различные задачи управления мобильными роботами и группами роботов.

Практическая значимость и внедрение результатов диссертационной работы. Системы управления наземным мобильным роботом и квадрокоптером, разработанные на базе предложенного в диссертационной работе принципа синтезированного оптимального управления и программно-реализованных методов машинного обучения, были внедрены при выполнении НИОКР в ООО «Инжиниринговый центр «Автоматика и робототехника МГТУ им. Н.Э. Баумана», при выполнении НИР в ФАУ ЦАГИ (Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского) и в АО «ВПК «НПО Машиностроения», при выполнении ОКР в ООО «Научно-производственное объединение «НаукаСофт».

Апробация результатов диссертационной работы. Содержание диссертационной работы в достаточной мере отражено в публикациях автора, включая 1 монографию на английском языке, 34 публикации в научных изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus, включая 7 статей в изданиях Q1 и Q2 квартиля,

12 публикаций в изданиях, включенных в перечень журналов, рекомендованных ВАК для соискателей, 15 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе. Необходимо отметить следующие замечания.

1. Следовало бы сделать название диссертационной работы более развёрнутым, так как из текущего названия не прослеживается идея применения методов машинного обучения для автоматизированного поиска законов управления для робототехнических систем.

2. Следовало бы обосновать выбор заявленных к использованию в диссертационной работе 3 популяционных алгоритмов оптимизации.

3. В диссертационной работе функция управления (2.26) рассматривается в форме кусочно-постоянной функции времени посредством разбиения временного отрезка на интервалы Δt . При этом практически не рассматриваются представляющие несомненный интерес вопросы исследования интервалов разбиения, их длины и количества.

4. Из текста диссертационной работы не ясно, как следует выбирать базисное решение в предлагаемых методах символьной регрессии, насколько выбор базисного решения влияет на сходимость встроенного алгоритма оптимизации. Очевидно, следовало бы представить рекомендации по выбору базисного решения, а также по заданию исходного алфавита базисных функций.

5. В диссертационной работе предполагается, что в каждый момент времени робот получает достоверную информацию о своем положении. Однако, на практике было бы интересно рассмотреть вопрос взаимодействия разрабатываемой системы управления с существующей системой навигации робототехнического объекта.

Заключение. Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертационная работа Шмалько Елизаветы Юрьевны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой автором проведены новые исследования, разработаны новые теоретические положения методологии автоматизированного построения законов управления робототехническими объектами, разработаны новые методы и алгоритмы их применения на основе машинного обучения систем управления, позволяющие повысить качество получаемых законов управления для робототехнических систем.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а именно пп.2, 4, 7, поскольку содержит формализацию и постановку задач оптимизации и управления, разработку методов и алгоритмов решения задач оптимизации и управления, а также методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза сложных систем управления.

Таким образом, диссертационная работа Шмалько Елизаветы Юрьевны на тему «Принцип синтезированного оптимального управления в робототехнических системах» соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Шмалько Елизавета Юрьевна – заслуживает присуждения исковой ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Официальный оппонент:

Профессор кафедры корпоративных информационных систем

Института информационных технологий

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,

доктор технических наук, профессор

Л.А. Демидова

24 октября 2024 года

Подпись официального оппонента Л.А. Демидовой заверяю:

Начальник
Управления кадров

М.М. Буханова

