



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

31 ОКТ 2025 № 104-6298

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

доктор экономических наук,
профессор



В.Д. Богатырев

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева»
на диссертационную работу Горбунова Дмитрия Владимировича
«Методы и алгоритмы анализа и воспроизведения динамики движений
конечности человека», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика

Диссертационная работа Горбунова Дмитрия Владимировича «Методы и алгоритмы анализа и воспроизведения динамики движений конечности человека» выполнена в Сургутском филиале федерального государственного автономного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Актуальность исследования

Актуальность исследования обусловлена комплексом фундаментальных и прикладных задач, стоящих на стыке биомеханики, робототехники, медицины и информационных технологий. В условиях стремительного развития таких областей, как реабилитационная и сервисная робототехника, телемедицина,

системы дополненной реальности, возникает острая потребность в создании высокоточного, адаптивного и эффективного математического и алгоритмического обеспечения, способного адекватно описывать, анализировать и воспроизводить сложную биомеханику движений человека.

Социально-экономический и медицинский аспект актуальности темы связан с глобальным старением населения и ростом числа пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата вследствие травм, инсультов и неврологических заболеваний. Это стимулирует спрос на технологии прецизионной реабилитации и адаптивного протезирования. В связи с этим разработка новых алгоритмов, позволяющих производить точный анализ кинематики и динамики конечностей, является важной научно-технической задачей. Решение этой задачи позволит создавать интеллектуальные протезы и экзоскелеты, способные к плавному и естественному воспроизведению движений, а также системы объективного мониторинга реабилитации, предоставляющие врачам количественные данные о прогрессе пациента.

С точки зрения робототехники и человеко-машинного взаимодействия актуальность определяется необходимостью интеграции роботов в человеко-ориентированную среду – от промышленных коллаборативных роботов до антропоморфных сервисных манипуляторов. Для обеспечения безопасного и интуитивно понятного взаимодействия традиционные методы, основанные на жестко заданных траекториях, неприменимы. Требуются алгоритмы, способные к воспроизведению двигательных паттернов человека, прогнозированию его траекторий для предотвращения коллизий и созданию цифровых двойников для тестирования в виртуальной среде, что, в свою очередь, невозможно без высокоточной биомеханической модели.

Исследование биомеханической системы конечности человека представляет собой сложный, нелинейный, многомерный объект управления с меняющимися во времени параметрами. Актуальность работы тесно связана с необходимостью развития методов системного анализа и обработки информации. К ним относятся проблемы фильтрации шумов в сигналах биологической природы, идентификации параметров сложных кинематических цепей и динамических моделей, а также декомпозиции движений. Все это требует развития современных методов статистической обработки данных и разработки математического и алгоритмического обеспечения.

Результаты исследования также имеют потенциал использования в смежных областях, таких как спорт и виртуальная/дополненная реальность.

Таким образом, актуальность диссертационного исследования заключается в разработке новых и совершенствования существующих методов и алгоритмов анализа и воспроизведения динамики движений конечности человека. Эти методы и алгоритмы будут содействовать решению критически важных прикладных задач в медицине и робототехнике.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы. Объем диссертации составляет 164 страницы, включая 65 рисунков и 25 таблиц. Список литературы содержит 101 наименование.

Цель работы заключается в исследовании и разработке математического и алгоритмического обеспечения и симуляционной модели биомеханической системы человека для повышения эффективности воспроизведения динамики движений конечности, а также в совершенствовании методов и алгоритмов анализа и оценки гомеостаза биомеханической системы человека.

Задачи диссертационного исследования

В работе указываются следующие задачи исследования:

1. Сбор и анализ статистических данных по произвольным и непроизвольным движениям конечности человека для выявления и верификации закономерностей в их динамике.
2. Разработка метода проверки эффективности симуляционной модели.
3. Разработка математического и алгоритмического обеспечения на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью по результатам анализа параметров движений конечности человека с учетом биофизики мышечных сокращений.
4. Реализация специального программного обеспечения для генерации и последующего сравнительного анализа экспериментальных и модельных данных.
5. Применение методов и критериев математической статистики и теории хаоса-самоорганизации для проверки эффективности получаемых результатов симуляционного моделирования динамики движений конечности человека.

Научная новизна

Диссертационная работа отличается высоким уровнем научной новизны.

Автором разработан метод построения математического обеспечения, а также математическое и алгоритмическое обеспечение на его основе для создания симуляционной модели по воспроизведению динамики движений конечности человека. Также автором предложен метод оценки эффективности разработанной симуляционной модели для биомеханической системы человека на основе математической статистики и теории хаоса-самоорганизации.

Основные результаты, характеризующиеся своей научной новизной, состоят в следующем:

- разработан метод построения математического обеспечения на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью;
- разработано математическое и алгоритмическое обеспечение и реализована симуляционная модель динамики движений конечности человека;
- предложен метод оценки эффективности разработанной симуляционной модели для биомеханической системы человека на основе математической статистики и теории хаоса-самоорганизации.

Практическая ценность результатов диссертационной работы заключается в исследовании биомеханической системы человека и выявления закономерностей в динамике движений конечности. На основе системного анализа параметров движений и установленных закономерностей автор разработал метод построения математического обеспечения, а также математическое и алгоритмическое обеспечение для реализации симуляционной модели биомеханической системы человека, что существенно повышает эффективность воспроизведения динамики движений конечности. Созданная симуляционная модель может быть использована для решения инженерно-технических задач, требующих моделирования динамики движений конечности человека, например, для проведения настройки системы управления в контуре человеко-машинных систем. Результаты диссертационного исследования имеют практическое значение в медицине для исследований причин возникновения патологических процессов опорно-двигательного аппарата человека, в т.ч. в рамках диагностики и лечения таких заболеваний, как болезнь Паркинсона, болезнь Альцгеймера, эссенциальный тремор и др. Также результаты диссертационной работы могут быть использованы в спортивной деятельности в части повышения точности выполнения двигательных функций со спортивным инвентарем (например, бильярд, биатлон, стрельба из лука и т.д.).

Значимость результатов

Диссертационная работа содержит значимые теоретические результаты. В диссертационной работе представлен метод построения математического обеспечения, позволяющий осуществлять разработку моделей для исследования разнообразных функциональных систем организма человека. Также в работе представлен метод оценки эффективности моделей, допускающих реализацию хаотической динамики и/или механизмов самоорганизации.

Достоверность полученных результатов

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, а также достоверность полученных результатов диссертационного исследования Горбунова Д.В. подтверждается, во-первых, корректным применением апробированных исследовательских методов и подходов математической статистики, термодинамики неравновесных систем и теории хаоса-самоорганизации, во-вторых, хорошим соответствием экспериментальных результатов и результатов проведенного моделирования, в т.ч. согласованностью результатов расчетов по симуляционной модели с результатами натурных экспериментов, а также пройденной апробацией авторских разработок на разноуровневых научных конференциях.

Выводы по диссертационной работе логически следуют из основного содержания диссертации.

Замечания

1. В работе встречаются формулировки, которые могут затруднить чтение материала. В частности, это относится к использованию большого количества аббревиатур.

2. В целях повышения терминологической строгости работы следовало бы уточнить физическую интерпретацию неравенства (9). Как следует из содержания диссертации, данное неравенство устанавливает детерминированные ограничения системы. Проводимая аналогия с принципом неопределенности Гейзенберга, хотя и интересна, может отвлекать внимание от сути полученных результатов.

3. В работе используется одно из возможных сторонних определений квазиаттрактора, носящее существенно общий характер, что по сути сводится к описанию квазиаттрактора как области возможных значений фазовых параметров. Для придания термину большей строгости и содержательности в

работе следовало бы более четко указать, какие именно свойства квазиаттрактора рассматриваются и учитываются в диссертационном исследовании.

4. В диссертации представлен метод построения математического обеспечения на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. В работе стоило бы дополнительно использовать какой-либо существующий и апробированный «типовой» метод в интересах сравнительного сопоставления результатов его применения с результатами разработанного в диссертации авторского метода. Возможно в работе следовало бы позиционировать разработанный метод в форме алгоритма.

5. В диссертации представлены рассчитанные значения энтропии для анализа динамики биомеханической системы, однако не совсем понятно какие можно сделать выводы, отталкиваясь от этих конкретных величин энтропии.

6. Разработанный метод оценки эффективности симуляционной модели является важным результатом, однако весьма востребовано его расширение в части формализации набора конкретных количественных метрик. Это содействовало бы более четкому критериальному описанию при внедрении симуляционной модели в практику решения прикладных задач биомеханики, спортивной медицины и реабилитации.

Вместе с тем, необходимо отметить, что представленные выше замечания носят скорее рекомендательный и редакционный характер, и никак не отражаются на оценке научной и практической ценности диссертации, которая однозначно является положительной.

Апробация работы и публикации

Основные научные результаты диссертации Горбунова Д.В. докладывались на всероссийских и международных конференциях и были опубликованы в 17 работах, из них: 8 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 статьи в других рецензируемых журналах, 4 публикации в сборниках трудов и тезисах докладов конференций, получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Опубликованные материалы освещают основные положения диссертации.

Соответствие содержание автореферата содержанию работы

Автореферат соответствует основному содержанию работы и в полной мере отражает основные аспекты работы, результаты и выводы.

Заключение

Диссертационная работа выполнена на достаточно высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Область исследования по содержанию, объекту и предмету соответствует направлениям исследований паспорта научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки). Диссертация Горбунова Д.В. является самостоятельным исследованием, содержащим решение научной задачи, имеющей значение для соответствующей отрасли знаний.

Диссертационная работа «Методы и алгоритмы анализа и воспроизведения динамики движений конечности человека» удовлетворяет критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп.9-14 Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842), а ее автор, Горбунов Д.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Отзыв обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры технической кибернетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» «27» октября 2025 г., протокол заседания № 4.

Директор института информатики и кибернетики,
заведующий кафедрой технической кибернетики
Самарского университета
доктор технических наук, доцент



А.В. Куприянов

Контактная информация:

Полное наименование организации:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Сокращенное наименование организации: Самарский университет.

Адрес: Россия 443086 Самара, ул. Московское шоссе, д. 34.

Телефон (приемная ректора): (846) 335-18-26; e-mail: ssau@ssau.ru; официальный сайт: <https://ssau.ru/>