

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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» (технические науки).

Диссертационная работа Горбунова Д.В. посвящена разработке методов и алгоритмам анализа и воспроизведения произвольных и непроизвольных движений человека, что позволило существенно повысить эффективность решения задачи по воспроизведению динамики движений. Актуальность исследования обусловлена совокупностью фундаментальных научных и практических проблем в высокотехнологичных отраслях (например, медицина, робототехника, виртуальная реальность и др.). В этой связи необходимость разработки новых и совершенствования существующих методов анализа и воспроизведения точной биомеханики движений очевидна.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена сразу несколькими факторами из разных областей:

В области фундаментальных научных исследования, а именно понимание биомеханики человека. Любые движения человека представляют собой сложнейший многосоставной процесс, который включает управление нейромышечной системой, работы мышечных пучков (в том числе мышечных волокон) и процесс самоорганизации. Несмотря на то, что подобного рода исследования проводилось достаточно долго, много аспектов хаотической динамики движений остаются не до конца формализованными. Существует потребность в создании более точного и адекватного метода построения математического обеспечения, которые не просто способны описать или реализовать кинематику, но и воспроизвести динамику с учетом хаотической природы движений и

процесса самоорганизации. Это является фундаментальной научной проблемой, решение которой позволит понять принципы организации движения живых систем.

В области медицины – это развитие медицинских технологий и реабилитационной робототехники. Современная медицина стремительно развивается и растет применение новых технологий, которые требуют точного анализа и воспроизведения движений человека: протезирование и ортезирование (например, активные бионические протезы, способные в реальном времени анализировать намерения пользователя и воспроизводить естественную, плавную и адаптивную динамику движения); роботизированные реабилитационные комплексы, которые нуждаются в точных моделях эталонной динамики движения для сравнения с патологическим движением.

В области развития человеко-машинного интерфейса, где от взаимодействия робота и человека на производстве требуется от робота способность предугадывать намерения и траектории движения оператора для обеспечения безопасности и повышения эффективности взаимодействия.

В области индустрии виртуальной и дополненной реальности создание алгоритмов прогнозирования траектории движения в реальном времени является актуальной технологической задачей для повышения скорости и точности отклика системы.

Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 164 страницах.

Во введении Горбунов Д.В. представляет тему работы, обоснование актуальности, формулирует цель и задачи исследования.

Первая глава представлена в виде обзора проблем анализа параметров сложных биологических систем, в частности наличие особой хаотической динамики движений конечности и как следствие проблемы анализа подобных систем. Приводится аналитический обзор традиционных моделей биомеханических систем и представлены биологические основы

биомеханической системы человека. Для решения задачи построения математического обеспечения представлена базовая часть в виде краткого обзора теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Глава завершается выводами о проведенном анализе по проблематике исследования.

Вторую главу можно разбить на две части. Первая часть посвящена методам и подходам проведения исследования, алгоритмам анализа данных. В частности, представлены методы математической статистики, которые требуется использовать для определения закономерностей в хаотической динамике движений. Представлен алгоритм расчета энтропии Шеннона для дополнительного анализа данных. Также во второй главе представлен алгоритм по расчету параметров квазиаттрактора как один из методов оценки состояния испытуемого и алгоритм проверки, получаемых выборок, на однородность.

Вторая часть посвящена результатам анализа на основе представленных ранее алгоритмов и подходов в рамках математической статистики, расчета значений энтропии, построения фазовых плоскостей (квазиаттракторов) и расчета их параметров. Глава завершается логически изложенными выводами по ее теоретической и практической части.

Третья глава посвящена методу построения математического обеспечения на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью, а также разработанному на его основе математическому и алгоритмическому обеспечению. Представленное математическое обеспечение в общем виде позволяет сделать вывод, что разработанное обеспечение можно использовать не только для биомеханической системы человека, но и для других подобных функциональных систем в которых наблюдается хаотическая динамика и самоорганизация системы. Подчеркивается, что управляющая характеристика математического и алгоритмического обеспечения это траектория движения (линия разрыва), а также выделено то, что управление реализовано для теппинга т.к. оно должно реализовать само движение.

В четвертой главе автор диссертации приводит результаты эксперимента и проверку адекватности реализованного математического и алгоритмического обеспечения. На основе ранее установленных закономерностей выполняется визуализация и осуществляется сравнительный анализ на основе предложенных методов и подходов во второй главе статистический анализ, анализ значений энтропии и анализ квазиаттракторов. На основе проведенного анализа представлены обоснованные выводы, что результат симуляционного моделирования сопоставим с реальными данными.

В заключении Горбунов Д.В. представляет общие результаты работы.

Список литературы содержит 101 наименование. Приложения содержат информацию о 3 зарегистрированных программах на ЭВМ и 2 актов внедрения результатов исследования.

Теоретическая значимость диссертации Горбунова Д.В. заключается в разработке метода построения математического обеспечения для создания симуляционной модели в частности биомеханической системы, который позволяет учесть хаотическую динамику и процесс самоорганизации сложной функциональной системы организма человека, а также методы и алгоритмы системного анализа для оценки эффективности разработанной и реализованной модели.

Практическая значимость работы заключается в программной реализации разработанного математического и алгоритмического обеспечения в виде симуляционной модели и подходов к анализу данных и проверке адекватности подобных моделей. Получаемые наборы данных позволяют произвести согласование, тонкую настройку и тестирование технически сложных устройств. Также практическая значимость работы подтверждается внедрением результатов в Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований

Российской академии наук» и образовательный процесс БУ ВО «Сургутский государственный университет».

Положения и выводы диссертационной работы описаны и обоснованы в полной мере. **Достоверность результатов** подтверждается результатами натурных и вычислительных экспериментов, анализ и оценка которых выполнялись с помощью апробированных методов исследования. Работа Горбунова Д.В. апробирована на профильных конференциях различного уровня, полученные результаты не противоречивы и согласуются с другими результатами данной области, представленными в научных публикациях.

Научная новизна. Автором предложен *метод построения математического обеспечения* на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Также автором разработаны *математическое и алгоритмическое обеспечение* для воспроизведения хаотической динамики параметров биомеханической системы человека на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Алгоритм генерации траектории движения конечности человека позволяет моделировать как тремор, так и двигательный акт (теппинг) человека с характерным проявлением тремора, что позволяет использовать модель для тестирования сложных технических устройств. *Метод оценки эффективности*, разработанной симуляционной модели для биомеханической системы, позволяет оценить адекватность на основе известных закономерностей в динамике параметров сложной биомеханической системы.

Замечания по диссертационной работе

1. В тексте диссертации указывается, что исследование включало в себя и анализ амплитудно-частотных характеристик сигналов. Данному подходу следовало бы уделить больше внимания.

2. Для анализа квазиаттракторов в качестве дополнительной метрики целесообразно было бы использовать формализм размерностей

аттракторов, часто используемых для получения и сравнительного анализа количественных характеристик хаотического движения.

3. Алгоритмы модели для произвольных и непроизвольных движений человека на фоне сложной структуры (рис. 3.8-3.12) сложны для визуального восприятия и требуют дополнительного текстового описания.

4. К сожалению, интерфейс ПО (п.3.4, рис. 3.13.,3.14,3.15,) англоязычный. Дальнейшее использование программного комплекса все же требует русскоязычной версии пользовательского интерфейса.

Указанные замечания в целом не изменяют общей положительной оценки диссертации и не снижают значимости основных результатов, полученных в работе. Диссертационная работа Горбунова Дмитрия Владимировича «Методы и алгоритмы анализа и воспроизведения динамики движений конечности человека» является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика: п. 2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», п. 3 «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», п. 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», п. 5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта», п. 7 «Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем».

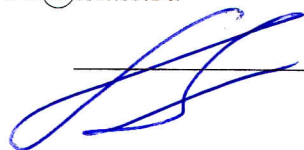
Диссертация Горбунова Д.В. «Методы и алгоритмы анализа и воспроизведения динамики движений конечности человека» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а именно п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», установленным постановлением правительства РФ от 24.09.2013г. №842, а ее автор Горбунов Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, начальник отделения интеллектуальных кибернетических систем Обнинского института атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ИАТЭ НИЯУ МИФИ).

Адрес: 249039, Калужская область, городской округ «Город Обнинск», г. Обнинск, тер. Студгородок, д.1

Телефон: +7 (484) 393-69-31

Эл. почта: sergeystarkov56@mail.ru



Старков Сергей Олегович

17.11.2025

Подпись С.О. Старкова заверяю

И.о. директора ИАТЭ НИЯУ МИФИ

Проф., д.ф.м.н.



Панов Алексей Валерьевич

