

Вх. № 1/24

от 26.02.2024г.

УТВЕРЖДАЮ

Ректор федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Новосибирский национальный
исследовательский государственный
университет» академик РАН,
д. физ.-мат. н., профессор М.П. Федорук



« 26.02.2024г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Горбунова Дмитрия Владимировича
«Математическое моделирование динамики движений биомеханической
системы человека», представленной на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы диссертации связана с изучением параметров функциональных систем организма человека, которое имеет важное значение для создания передовых разработок в медицинской промышленности и персонифицированной медицине. Создание математических моделей является ключевым направлением исследований функциональных систем организма человека. Однако, в динамике поведения параметров гомеостатических систем присутствует неопределенность, которая может быть связана с недостаточным изучением механизма взаимодействия подсистем.

Диссертационная работа посвящена изучению и разработке математической модели биомеханической системы организма человека, которая имеет высокую практическую значимость для различных областей

медицины и инженерии, так как она играет важную роль в выполнении механических работ в тяжелых условиях и при идентификации патологических процессов на ранних стадиях. Детальное изучение механизмов регуляции биомеханической системы является важной задачей, а математическое моделирование движений человека может помочь в решении различных практических задач. Например, разработка персонифицированных методов диагностики и лечения, основанных на учете индивидуальных особенностей каждого пациента, может значительно улучшить эффективность и точность лечения. Кроме того, математическое моделирование может быть использовано для оптимизации процессов реабилитации после травм и операций, а также для создания новых устройств и технологий в области медицины и спорта.

Таким образом, исследование и математическое моделирование биомеханической системы организма человека на основе новых научных результатов Горбунова Д.В. имеет высокую практическую значимость и может привести к созданию передовых разработок в медицинской промышленности, повышению эффективности лечения и реабилитации, а также улучшению качества жизни людей.

Актуальность представленной диссертационной работы заключается в том, что она предлагает комплексный подход к созданию и валидации математических моделей, что является необходимым для решения многих практических задач в различных областях, таких как биомеханика, медицина и инженерия. Разработанный комплекс программ для проведения вычислительного эксперимента позволяет проводить более точные и достоверные чем ранее исследования, что может привести к созданию более эффективных и безопасных технологий. Кроме того, использование теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью в разработанной математической модели позволило учесть нелинейность и нестационарность процессов в биомеханической системе, что является актуальной задачей в данной области исследований.

Научная новизна

Результаты, полученные в диссертации, обладают несомненной новизной.

Разработан новый метод математического моделирования динамики движений биомеханической системы человека на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью

Реализовано численное решение и алгоритмы расчета произвольных и непроизвольных движений конечности человека на основе решения дискретной формы разработанного метода математического моделирования в численном виде.

Создан комплекс программ для проведения вычислительных экспериментов. Получены новые численные решения в задаче воспроизведения динамики движений конечности человека, которые позволяют воспроизводить траекторию движения конечности человека с хаотической динамикой. Выполнен сравнительный анализ численных расчетов комплекса проблемно-ориентированных программ с данными натуральных экспериментов.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов работы обеспечены использованием методов математических моделирования, численных методов, методов математической статистики, теории хаоса-самоорганизации, термодинамики неравновесных систем и теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью.

Разработка методов анализа, математических методов оценки медико-биологических параметров и математической модели поддержаны грантами РФФИ мол_а № 18-37-00113 «Разработка новых информационных и математических методов оценки медико-биологических параметров», А №18-07-00162 «Вычислительные системы для идентификации параметров нормогенеза и патогенеза в биомеханике на примере тремора и теппинга»,

р_урал_а № 15-41-00034 «Разработка новых информационных моделей и вычислительных алгоритмов для идентификации параметров порядка в описании и прогнозах сложных медико-биологических систем».

Научные исследования и наиболее существенные научные результаты:

1. Предложенный подход к анализу и оценке параметров движений конечности человека на основе математической статистики и теории хаоса-самоорганизации, который позволяет выполнить анализ большого массива данных по биомеханической системе с целью получения новых сведений и закономерностей в динамике поведения исследуемых параметров.

2. Математическое и алгоритмическое обеспечения позволяют воспроизводить наборы данных с заданными параметрами произвольных и непроизвольных движений биомеханической системы человека, что позволяет провести идентификацию состояния организма человека и определить диапазон удержания градиентов внутренней самоорганизующейся системы для согласования и тонкой настройки человеко-машинных систем

3. Алгоритм генерации движений конечности, позволяющий генерировать наборы данных с высокой степенью адекватности реальной хаотической динамике произвольных и непроизвольных движений человека для тестирования сложных технических устройств.

4. Подход к оценке адекватности модели для биомеханической системы человека на основе расчетов параметров квазиаттракторов в рамках теории хаоса-самоорганизации и математической статистики, что позволяет учесть получение сведения и верифицированные закономерности об изучаемом объекте.

Научная и практическая значимость.

Разработан метод математического моделирования биомеханической системы человека и алгоритмы расчета динамики движений конечностей и реализован в виде комплекса проблемно-ориентированных программ. Этот комплекс программ может использоваться для настройки систем управления в человеко-машинных системах, а также в медицине для исследования патологических процессов биомеханической системы человека. Результаты работы также полезны для спортсменов, чья деятельность связана с точностью движений, а модификация алгоритмов позволяет моделировать движения в пространстве. Кроме того, результаты диссертационного исследования позволяют существенно расширить сферу применения биомеханических моделей человека и повысить точность расчетов при моделировании движений конечностей. Возможно применение разработанных методов и алгоритмов для создания биомеханических моделей животных и роботов, что имеет большое значение для решения задач в области инженерии и робототехники.

Данные результаты могут быть применены в медицине для углубленного исследования причин возникновения патологических процессов в опорно-двигательном аппарате человека, что в свою очередь может помочь разработать более эффективные методы лечения. В спорте разработанные методы и программный комплекс могут быть использованы для тренировки спортсменов и оптимизации техники движения с целью увеличения их результативности.

Таким образом, результаты данного исследования могут найти применение в различных областях, где требуется точное моделирование движений конечностей человека, а также изучение причин возникновения патологических процессов и улучшение спортивных достижений.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и двух приложений. В конце каждой главы представлены выводы, суммирующие результаты, полученные в этой главе. Общий объем диссертации составляет 167 страниц, включая 65 рисунков и 25 таблиц, список литературы содержит 101 наименование.

Во введении представлена общая характеристика работы. Показана актуальность темы исследования. Поставлена цель и определены задачи исследования. Сформулированы положения, выносимые на защиту. Представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена обзору литературы. В результате был сделан вывод о необходимости исследования неопределенностей в сложных биосистемах для разработки эффективных методов математического моделирования и алгоритмов. На основе этих исследований необходимо создать комплекс программ для моделирования динамики движений биомеханической системы человека.

Во второй главе представлены методика проведения натуральных экспериментов для последующего анализа и выявления закономерностей в динамике движений биомеханической системы, а также методы анализа данных, которые могут применяться для анализа данных, полученных в ходе проведения как натуральных, так и вычислительных экспериментов, в том числе и при их сравнении для оценки эффективности работы разрабатываемого комплекса программ.

Третья глава посвящена детальному анализу данных натуральных экспериментов. Представлены результаты применения методов анализа данных с помощью математической статистики и теории хаоса-самоорганизации, который можно использовать для проверки выборок на однородность и идентификации состояния испытуемых. Содержит сведения

и выводы о закономерностях в динамике движений биомеханической системы и о том, как они используются для разработки математической модели.

В четвертой главе подробно описан новый метод математического моделирования функциональных систем организма человека в общем виде и его частный случай в виде математической модели динамики движений биомеханической системы человека. Также представлена математическая модель в дискретном виде для реализации алгоритмов моделирования в виде комплекса программ.

Пятая глава посвящена результатам проведения вычислительных экспериментов и их анализа в том числе сравнения с данными, полученными в ходе проведения натуральных экспериментов для оценки эффективности разработанного и реализованного метода математического моделирования. Проведенные вычислительные эксперименты показали, что математическая модель с высокой эффективностью воспроизводит динамику движений биомеханической системы человека.

В заключении кратко сформулированы основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

Замечания по содержанию диссертации.

1. В первой главе не уточняется, каким образом выбор метода математического моделирования на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью поможет учитывать неопределенности в динамике движений конечности человека и процесс самоорганизации биосистем.

2. Во второй главе следовало бы описать более подробно процедуры, используемые для сбора экспериментальных данных, регистрации параметров биомеханической системы и анализа данных, чтобы другие

исследователи могли повторить эксперимент и достоверно оценить полученные результаты.

3. Следовало уделить больше внимания тому, как выявленные закономерности в динамике движений биомеханической системы стали основой метода математического моделирования.

4. В дальнейшем рекомендуется провести более подробный анализ влияния различных параметров на результаты моделирования.

5. Практически ничего не сказано про разработанный комплекс программ, в главе 5 обсуждаются преимущественно интерфейсы. О языке программного комплекса можно узнать только из свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы

Заключение.

Диссертационная работа Горбунова Дмитрия Владимировича «Математическое моделирование динамики движений биомеханической системы человека», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполненной на высоком научном уровне. Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских, проектных и общеобразовательных учреждениях, занимающихся математическим моделированием, разработкой численных методов и комплексов программ для исследования функциональных систем организма человека, в том числе биомеханической системой, и для решения соответствующих практических задач. Работа соответствует паспорту специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по следующим пунктам:

п. 1 – Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений (физико-математические науки);

п. 3 – Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;

п. 4 – Разработка новых математических методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе его математической модели;

п. 5 – Разработка новых математических методов и алгоритмов валидации математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента или на основе анализа математических моделей.

Полученные результаты соответствуют уровню кандидатской диссертации по рассматриваемой специальности.

Автореферат диссертации составлен с соблюдением установленных требований и дает подробное представление о диссертационной работе.

Диссертация Горбунова Д.В. соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.13 № 842, а ее автор Горбунов Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа, автореферат и отзыв на диссертацию Горбунова Дмитрия Владимировича обсуждены на заседании кафедры Систем информатики факультета информационных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский

государственный университет». Протокол семинара №23 от 12 февраля 2024 года.

Профессор Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», доктор физико-математических наук по специальности 01.01.02-дифференциальные уравнения), профессор
«12» февраля 2024 года



М.М. Лаврентьев

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет». Адрес: 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 1. Тел.: +7 (383) 363-40-00. Факс: +7 (383) 363-42-80. Электронная почта: rector@nsu.ru. Адрес сайта: <https://www.nsu.ru>

Подпись Лаврентьева Михаила Михайловича заверяю.
Ученый секретарь федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»,
кандидат химических наук



Е.А. Тарабан

