ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.418.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССССИЙСКОГО ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19.03.2024 № 1

О присуждении Горбунову Дмитрию Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование динамики движений биомеханической системы человека» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 20 декабря 2023 года (протокол заседания № 7) диссертационным советом 24.2.418.03, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6. Приказ Минобрнауки России от 09.11.2012 № 717/нк.

Соискатель Горбунов Дмитрий Владимирович, 16.02.1991 года рождения, в 2014 году окончил Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» по специальности 01.05.01 Прикладная математика и информатика.

В период подготовки диссертации соискатель Горбунов Дмитрий Владимирович обучался в очной аспирантуре бюджетного учреждения высшего

образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет» на кафедре биофизики и нейрокибернетики по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 03.01.02 «Биофизика» с 01.09.2014 по 01.09.2018 и работал в должностях: инженер кафедры биофизики нейрокибернетики с 02.09.2014 по 04.09.2017, инженер по патентной изобретательной работе с 05.09.2019 по 12.11.2017, инженер кафедры безопасности жизнедеятельности с 13.11.2017 по 31.10.2018, преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности с 01.11.2018 по 31.08.2019, преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления с 01.09.2019 по 31.08.2020, старший преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления с 01.09.2020 по настоящее время.

Справка № 78-16-02-23 от 25.01.2023 г. о сдаче кандидатских экзаменов выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Югорский государственный университет» на основании приказа о прикреплении лиц в качестве экстернов для сдачи кандидатских экзаменов №2-415 от 16 марта 2020 г.

Диссертация выполнена на кафедре автоматизированных систем обработки информации и управления политехнического института бюджетного учреждения высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Гавриленко Тарас Владимирович БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет».

Официальные оппоненты: 1) **Пятков Сергей Григорьевич** – доктор физико-математических наук, профессор, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»; 2) **Тырсин Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная математика и механика» Института естественных наук и математики

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» в своем положительном отзыве, подписанным доктором физико-математических наук, профессором **Лаврентьевым Михаилом Михайловичем**, указала, что диссертационная работа Горбунова Дмитрия Владимировича «Математическое моделирование динамики движений биомеханической системы человека» по содержанию, актуальности, научной новизне, основным положениям и выводам соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, 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.

Соискатель 18 работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ; в периодических изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus, опубликовано 2 работы. Общий объем научных изданий 10,16 п.л., из них вклад автора – 7,81 п.л. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые работы:

1. Горбунов, Д. В. Математическое моделирование динамических процессов организма человека на основе дифференциальных уравнений с разрывной правой частью / Д. В. Горбунов, Т. В. Гавриленко // Успехи кибернетики. – 2023. – № 1. –

С. 15–20. – DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-02. *(Перечень ВАК)*

2. Горбунов, Д. В. Математическое моделирование движений конечности человека с хаотической динамикой / Д. В. Горбунов, Т. В. Гавриленко // Успехи кибернетики. – 2022. – № 4. – С. 24–32. – DOI 10.51790/2712-9942-2022-3-4-03. *(Перечень ВАК)*
3. Горбунов, Д.В. Симуляционное моделирование непроизвольных движений человека / Д.В. Горбунов, Т.В. Гавриленко // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2019. – Т. 29, № 4. – С. 67-76. *(Перечень ВАК)*
4. Гавриленко, Т.В. Расчет квазиаттракторов для параметров движений человека / Т.В. Гавриленко, Д.В. Горбунов, Д.В. Белощенко, Ю.В. Башкатова // Вестник кибернетики. – 2018. – Т. 31, № 3. – С. 195-199. *(Перечень ВАК)*
5. Горбунов, Д.В. Симуляционное моделирование движения конечности человека / Д.В. Горбунов // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2020. – № 1. – С. 32-43. *(Перечень ВАК)*
6. Еськов, В.М. Энтропия Шеннона в изучении стационарных режимов и эволюции complexity / В.М. Еськов, В.В. Еськов, Ю.В. Вохмина, Д.В. Горбунов, Л.К. Иляшенко // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. – 2017. – № 3. – С. 90-98. *(Scopus)*
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615959 Российская Федерация. Моделирование динамики движений биомеханической системы человека : № 2023614686 : заявл. 03.03.2023 : опубл. 21.03.2023 / Д. В. Горбунов, Т. В. Гавриленко, С. А. Смородинов.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617594 Российская Федерация. Программа расчета матриц парных сравнений условно одинаковых выборок в идентификации гомеостаза : № 2016614814 : заявл. 12.05.2016 : опубл. 07.07.2016 / В. М. Еськов, Т. В. Гавриленко, Д. В. Горбунов [и др.].
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617606 Российская Федерация. Программа проверки равномерного распределения хаотических выборок : № 2016615292 : заявл. 12.05.2016 : опубл.

08.07.2016 / В. М. Еськов, Т. В. Гавриленко, Д. В. Горбунов [и др.].

На автореферат поступили отзывы от:

1. Кандидата физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой прикладной математики Политехнического института Бюджетного учреждения высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет» **Гореликова А.В.**, отзыв положительный, с замечанием:
   1. В качестве замечания по оформлению автореферата можно указать, что текст перегружен громоздкими и сложными для восприятия формулами (например, 13-16), содержащими большое количество коэффициентов с не вполне понятны физическим смыслом.
2. Кандидата физико-математических наук, доцента, заведующего отделом внедрения и сопровождения аппаратно-программных комплексов ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН **Моргуна Д.А.**, отзыв положительный, с замечаниями:
   1. В формуле (1) автореферата опечатка, пропущен знак «–».
   2. В автореферате некоторые формулы (например, формула 19) довольно громоздко и, как следствие, сложны для прочтения. Возможно, автору следовало бы их представить в более компактной форме или разбить на компоненты.
   3. В автореферате упоминаются матрицы парных сравнений и их характеристики для проверки адекватности модели, однако сами матрицы не представлены.
   4. Известен закон возрастания энтропии, согласно которому в изолированной системе энтропия либо остаётся неизменной, либо возрастает. В автореферате (см. конец стр. 10 – начало стр. 11) отмечается, что «При выходе из равновесия энтропия должна убывать». Автору следует пояснить, что имеется в виду.
   5. Автору рекомендуется более чётко сформулировать цель математического моделирования, разъяснив, к решению каких практически значимых задач в конечном счёте могут быть применены результаты работы.
3. Кандидата физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой компьютерной математики и информатики института математики и механики им.

Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета **Сачепкова О.А.**, отзыв положительный, с замечаниями:

1. В автореферате не раскрыто, что за биоизмерительный комплекс был использован, что непосредственно он измерял. И как следствие не совсем ясна природа и размерность получаемых данных.
2. Из текста автореферата не ясно, каким численным методом решалось итоговое дифференциальное уравнение. Как следствие, не ясна оценка точности, получаемых результатов.
3. В тексте не раскрыто, откуда брались численные величины параметров модели.

4. Доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Техническое управление качеством» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный технологический университет» **Бодина О.Н.**, отзыв положительный, с замечаниями:

1. В описании главы 2 представлена формула 1, но в тексте далее не приведены расчеты энтропии, что было бы более показательным.
2. В автореферате не указаны минимальные технические характеристики вычислительной системы для реализации разработанного метода моделирования динамики движений биомеханической системы человека. Это было бы полезно для оценки возможности переноса на приборную базу.
3. Вызывает вопрос рисунок 4. Во-первых, термин «уровень удержания позиции» относится к пространственным координатам, а на рисунке 3 приведены амплитудно-временные координаты. Во-вторых, вместо обозначения «серые линии», которые не просматриваются на рисунке 3, желательно использовать, например, пунктирные линии.

5. Доктора физико-математических наук, начальника Обнинского отделения Института интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ **Старкова С.О.**, отзыв положительный, с замечаниями:

1. Часть представленных математических отношений в автореферате, возможно,

следует разбить по компонентам и представить в более компактной форме.

2. Для большей информативности представления результатов проверки адекватности моделирования автору следовало бы представить в табличной форме.
3. Реализация любых патологических процессов представляет большой интерес. В автореферате приведен только 1 пример.

6. Доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» **Увайсова С.У.**, отзыв положительный, с замечаниями:
   1. Недостаточно подробно описан переход к программной реализации метода моделирования динамики движения.
   2. Автору стоило бы сделать подрисуночные подписи для блоков на рисунках 6 и 7 более информативными, например, как на рисунке 5.
   3. В описании главы 5 на рис. 8 представлен результат применения метода скользящего среднего, но параметры не указаны.
7. Доктора физико-математических наук, профессора механико-математического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова **Смирнова Н.Н.**, отзыв положительный, с замечаниями:
   1. В автореферате представлен алгоритм моделирования в полном виде для произвольных движений. Однако, описания недостаточно подробно для понимания алгоритма применительно к произвольным движениям.
   2. В автореферате следовало бы более подробно рассмотреть процесс перехода от дифференциальных уравнений с разрывной правой частью к дискретной форме, а также от дискретной формы к алгоритмам.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются специалистами высокого уровня в области дифференциальных уравнений, математического моделирования, численных методов

и комплексов программ, а ведущая организация известна своими достижениями в области дифференциальных уравнений, математической физики, математического моделирования и методов прикладной математики, а так же биомедицинской физики, что позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

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

– комплекс программ, предназначенный для моделирования динамики движений биомеханической системы человека с хаотической динамикой;

предложены:

– эффективный алгоритм расчета траектории движения конечности на примере произвольных и непроизвольных движений;

– численные решения в задаче воспроизведения динамики движений конечности человека, которые позволяют воспроизводить траекторию движения конечности человека с хаотической динамикой;

доказана перспективность использования математической модели для практического использования в развитии персонифицированной медицины.

введено изменение в трактовке понятия состояния организма человека в виде ограниченного коридора, внутри которого существует коридор для генерации траектории движения конечности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью в качестве инструмента для моделирования функциональных систем организма человека на примере биомеханической системы.

использован комплекс базовых методов исследования математической

статистики и теории хаоса-самоорганизации.

изложены:

– доказательства необходимости учитывать хаотическую природу движения конечности человека при создании метода математического моделирования.

– факторы, влияющие на биомеханическую систему человека, которые необходимо учитывать при математическом моделировании.

раскрыты противоречия в результатах анализа на основе математической статистике, что иногда требует использование дополнительных методов анализа, например, расчет параметров квазиаттракторов на основе теории хаоса-самоорганизации.

изучено происхождение тремора на биомеханическом уровне и установлена связь с количеством вовлекаемых в работу мышечных волокон разных мышечных пучков.

проведена модернизация вычислительного метода, основанного на методе Эйлера, для решения дифференциального уравнения с разрывной правой частью, описывающего динамику движений биомеханической системы человека;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены:

– комплекс проблемно-ориентированных программ, предназначенный для моделирования динамики движений биомеханической системы человека;

– математическое и алгоритмическое обеспечение на основе известных сведений о биомеханической системе человека с использованием теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью внедрены в отдел бионики, медицинской биофизики и человеко-машинного взаимодействия Сургутского филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» и используются при проведении исследований в области бионики и человеко-машинного взаимодействия.

определена перспектива практического использования разработанной математической модели на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью для других динамических систем.

создан эффективный алгоритм численного расчета динамики движений биомеханической системы, предназначенный для воспроизведения траектории движения и моделирования движения биомеханической системы человека;

представлены:

- результаты вычислительных экспериментов и обработки полученной информации для рассматриваемых математических моделей.

- рекомендации по использованию результатов моделирования для развития персонифицированной медицины и дальнейшего совершенствованию на основе применения искусственных нейронных сетей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на основе фундаментальных законов биофизики мышечных сокращений и теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью;

идея базируется на обобщении методов аналитического и численного исследования задач удержания траектории движения самоорганизующихся и хаотических систем;

использовано сравнение результатов численных расчетов разработанного комплекса проблемно-ориентированных программ с данными натурных экспериментов;

установлены корректность и применимость методов математического моделирования, численных методов и алгоритмов, на задачах воспроизведения динамики движения биомеханической системы человека сопоставимых с данными натурных экспериментов;

верифицированы результаты расчетов разработанного комплекса программ, на основе данных натурных экспериментов;

использованы современные методики сбора и обработки исходных данных и современные средства вычислительной техники для проведения сравнительного

анализа и математического моделирования динамики движений биомеханической системы человека.

Личный вклад соискателя состоит в разработке алгоритмов и их реализации в виде комплекса проблемно-ориентированных программ, включая отладку и тестирование, и проведении вычислительных экспериментов. Автор самостоятельно разработал метод математического моделирования и математическую модель на основе теории дифференциальных уравнений с разрывной правой частью для воспроизведения произвольных и непроизвольных движений биомеханической системы человека. В совместных исследованиях автор принимал участие на всех этапах работы: постановка задачи, выявление и верификация закономерностей в динамике движений конечности на основе натурного эксперимента, выбор и формулировка модели.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Совсем не прозвучало описание нового метода расчета дифференциальных уравнений. В связи с этим вопрос, в чем оригинальность метода и в чем этот метод отличается от других известных методов решения дифференциальных уравнений вашего класса? И вопрос второй, это точность метода расчета, сравнение расчета с помощью программного продукта и экспериментальных данных, сюда входит точность, корректность модели выбранной, точность программного продукта и точность расчёта, модели расчёта. Поэтому надо уточнить.

2. Что такое фазовый портрет? Объясните, пожалуйста, как ваша модель создавалась?

3. Какими параметрами вы описываете динамику движения?

4. Когда были продемонстрированы существующие модели в литературном обзоре было сказано, что они неправильные. У Вас модель в виде дифференциального уравнения по всей видимости она правильная. В чем неправильность и в чем правильность. В созданных ранее моделях время отсутствует, в Вашей модели есть время в правой части есть, то есть речь идет про автономность системы уравнений?

5. Первая задача исследования у Вас означает провести натурные эксперименты. Затем численные результаты сравнивали с результатами этих натурных экспериментов. А где доказательства? В докладе я этого не услышал. Какие аргументы? Данные натурных экспериментов все-таки являются кондиционными?

6. Если абстрактно подходить, то первоначальный модельный сигнал очень напоминает траекторию микрокапель под микроскопом. На физическую траекторию накладываются резкие всплески, связанные с подвешенностями разной природы. И бывает интересно понять в чём причина, потому что раз накладывается несколько видов погрешности, как бороться с такого рода тремором капельки? Подобная рода задача может быть решена с применением ваших наработок? Можете расширить классы задач где ваши наработки могут быть полезны?

7. Алгоритмы новые и программные продукты тоже новые. Возвращаясь к методу расчёта. Это не новый метод расчёта, который заявлен в основном в положении, а это развитие метода Эйлера. Поясните в чем отличие от метода Эйлера, в чем развитие?

Соискатель Горбунов Д.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. По поводу точности расчёта. Здесь ситуация очень сложна с точностью, так как это связано с динамикой движения, а в биологических системах воспроизвести одну и ту же выборку достаточно проблематично, точнее невозможно потому что каждый раз статистически будем получать новый набор данных, и не получим той же последовательности. Поэтому задача стояла воспроизвести именно динамику движения, поэтому в расчёт брались именно дополнительные методы проверки адекватности работы модели с оценкой качественно и количественно. Чтобы в рамках гомеостаза модель работала по тем же принципам, с той же условной точностью. Речь идёт о фазовых портретах, то есть определённая ограниченная область для натурных экспериментов. Соответственно, модель должна воспроизводить в заданной точности этих фазовых портретов с процентным попаданием 97-98%. По таким параметрам приходилось оценивать точность. Первая часть вопроса, численные решения.

Соответственно, расчеты проводились в том числе и с использованием метода Эйлера. Применимость данного метода к дифференциальным уравнениям с разрывной правой частью доказана Валерием Алексеевичем Галкиным. Соответственно, на основе этого используется метод Эйлера. Это метод модернизирован в том отношении, что биосистемы, это не техническая система, и они не работают как часы, и есть вероятность выхода за 3 сигмы, за 10 сигм, за 15 сигм, и потом возврат в нормальное состояние. И как раз-таки, здесь точность должна демонстрироваться в рамках именно квазиаттракторов, но при этом, если будет происходить некоторый выход за пределы 3 сигм, это даже хорошо, потому что система моделирования потом эти данные, как самоорганизующаяся система, притянет обратно в рамки ограниченной области и продолжит функционирование. Здесь именно как точность она имеет ключевое значение для динамики, для общего понимания всей модели. И по всем методам, которые применялись, и значение энтропии тоже рассчитывались проводилась оценка и сравнительный анализ модельных и экспериментальных данных с точностью совпадений 97-98%.

2. По оси x – значение, получаемое в результате регистрации данных, по оси у скорость изменения сигналов. Это в теории хаоса-самоорганизации апробированная методика для определения именно состояния человека, гомеостаза, в котором он находится. Закономерности прослеживаются в различных исследованиях функциональности организма человека, которыми занимался. Это и электромиограммы, и кардиоинтервалы, и электроэнцефалограммы. То есть это очень хорошая методика в рамках оценки состояния испытуемого и что с ним происходит при тех или иных воздействиях. Это и смещение центра, и смещение границ, и увеличение или уменьшение площади квазиаттракторов. В зависимости от патологий, от вида воздействия фазовый портрет выглядит по-разному. Установлено много закономерностей. По второй части вопроса, это как в модели настраивались данные. Соответственно, болезнь или любое проявление патологического процесса, это нестандартная работа механизмов внутри организма человека. Присутствует какой-то сбои. Например, меньшее количество мышечных волокон участвует в работе, если у

нас на уровне биомеханической системы. Соответственно, можно изменять структуру мышечных волокон и силу отклика этих мышечных волокон. Изменив количество мышечных волокон, можно получить модель патологического процесса, когда идет увеличение амплитуды тремора как бы в нормальном состоянии, в одном гомеостазе, но на фазовой плоскости будет два облака с генерализационной составляющей. На экспериментальных данных тоже есть эти два облака, и постоянно происходят спонтанные перескоки из одного в другое.

3. Милливольт. Биоизмерительный комплекс работает на основе токовихревой катушке, соответственно, пластина изменяет индуктивность, мы получаем милливольты, но существует апробированная методика перевода милливольты в миллиметры, и фактически получим график временной развертки такой же, за исключением изменения шкалы у. Чтобы не вносить путаницы и дополнительные переводы принято решение работать с данными полученных с биоизмерительного комплекса.

4. Модель Хилла точное движение по прямолинейной или криволинейной траектории может воспроизвести, но всегда точно по этой траектории без тремора и при этом нужно знать изометрическую силу. Фактически нужно, чтобы смоделировать движение необходимо подключить два электрода и максимальный импульс подать. Хельсинская декларация нам этого не позволит сделать. Еще есть модели Хаксли и Дещеревского. Там, соответственно, упущение то, что все-таки не актин и миозин участвуют в сокращении мышечных волокон, а есть некоторые мостики с пружинками, но никаких пружинок в мышечных волоках нет. Динамику именно с проявлением тремора тоже достаточно проблематично спрогнозировать. В разработанной модели, во-первых, присутствует время. Во-вторых, метод моделирования подходит к описанию и других функциональной системы организма человека. Но, как указывал Филиппов, чтобы в рамках этой теории работать, нужно знать определенные сведения о ней, поэтому для других функциональной системы пока что задача не стояла, но дополнительные исследования помогут установить эти дополнительные сведения и закономерности движения вектора состояния системы.

5. Проведение натурного эксперимента – это достаточно тяжелая задача. Надо было учесть и состояние испытуемых. Нужно разработать инструкции по распорядку дня и настоятельно рекомендовать всем испытуемым им следовать. Испытуемые их соблюдали. Это необходимо для того чтобы приблизить к одному гомеостату. Факторов влияющих много. Система человека – открытая система. Данные получены с высокой степенью достоверности. Проверялись дополнительно различными методами. Например, движение в виде тремора или теппинга они низкочастотные. Соответственно, при построении АЧХ, если что-то было нештатное, то наблюдались пики на других частотах. Исправить полученную выборку нет возможности поэтому такие данные не могут быть учтены, и они исключались на этапе предварительного анализа. Также для каждой выборки строилась временная развертка. В случаях, когда наблюдалось выброс в одна-две точки, а у человека тремор, когда регистрируется не может палец за доли секунды скакнуть резко вверх и вернуться обратно. Это физически невозможно. Поэтому такие выборки тоже исключались.

6. Также занимался исследованием многих функциональных систем организма человека, в том числе и электромиограммами, а там частота существенно выше. Изначальный пилообразный сигнал напоминает динамику электромиограмм. Соответственно, высокая степень того, что это получаются электромиограмма, но это надо проверить. По поводу того, как применить к капелькам. Это достаточно интересный вопрос. Вполне может как минимум частично применить. Возможности дифференциальных уравнений с разрывной правой частью, которые лежат в работе, фактически, применимо к динамическим системам, и, зная определенный набор параметров, как себя система ведет, можно динамические процессы попытаться воспроизвести и объяснить.

7. Отличие от метода Эйлера в том, что укрупняю условно решение и задаю диапазон. Метод Эйлера, это дополнительно был применен для исследования и проверки численного решения формулы (16). Модернизация Эйлера заключается в том, что мы работаем не с только с точками, но и с окрестностями. И эта окрестность – это как раз-таки гарант того, что попадаем в окрестность состояния гомеостаза

человека.

На заседании 19.03.2024 диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей важное теоретическое и практическое значение для аналитических и численных методов математического моделирования динамики движений биомеханической системы с учетом биофизики мышечных сокращений, принял решение присудить Горбунову Д.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении электронного тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек (очно – 15 человек, дистанционно – 1 человек), из них 7 докторов наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 1.

Председатель
диссертационного совета Захаров Александр Анатольевич

Ученый секретарь
диссертационного совета Оленников Алексей Александрович

19.03.2024