

ОТЗЫВ

официального оппонента Чечкина Александра Витальевича на диссертационную работу Тихоновой Екатерины Владимировны «Математические задачи коррекции активности вестибулярных механорецепторов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Диссертационная работа Тихоновой К.В. посвящена автоматической и когнитивной коррекциям воздействия на афферентные первичные нейроны (АПН) вестибулярного аппарата человека. При этом исследования и отработка эффективности такого воздействия осуществляются на основе математической модели биосенсора углового ускорения, созданного междисциплинарным научным коллективом под руководством академика РАН В.А. Садовниченко.

Актуальность темы работы связана с проблемой устранения нарушений функций вестибулярного аппарата, являющиеся следствием влияния на организм тех экстремальных условий, которым подвергаются в своей профессиональной деятельности космонавты, летчики, спортсмены, операторы современных технических средств или же люди в обычной жизни в результате вестибулярных заболеваний человека. Кроме того, актуальность темы диссертации связана с решением важной теоретической и прикладной проблемы построения и широкого внедрения в практику адекватной математической модели периферийной нервной системы человека. Создание такой модели потребовало привлечения двух научных руководителей, широкого общеуниверситетского научно организационного междисциплинарного уровня и глубокого научно профессионального уровня.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, достаточно высокая, и подтверждена корректным использованием методов математического моделирования, вычислительной математики, сравнением результатов численных расчетов с результатами экспериментов на клеточном уровне, проведенных в 2001-2005 годах в лаборатории нейрофизиологии под руководством доктора медицинских наук Э. Сото (Автономный университет Пуэбла-де-Сарагоса, Мексика).

Кроме того, обоснованность и выводы эффективности результатов работы подтверждены патентом на создание устройства автоматической коррекции установки зрения человека в условиях микрогравитации, полученным в 2013 году за номером RV2500375C1.

Научная новизна и достоверность работы заключается в постановке и решении задачи детерминированного перехода бистабильной колебательной системы из области притяжения точечного аттрактора, расположенного внутри периодического аттрактора, в область притяжения этого периодического аттрактора под воздействием малого возмущения. На основе этого автором показана возможность гальванической имитации перехода из области ожидания механического воздействия в область генерации сигналов нейронного управления движением глазных яблок. Идея такой имитации была высказана автором диссертации еще в ее магистерской диссертации и активно поддержана научными руководителями данной диссертационной работы.

Достоверность математических выводов основывается на применении принципа максимума Понтрягина, теоремы Малкина об устойчивости при постоянно действующих возмущениях, теоремы Андронова-Леонтовича о жесткой потере устойчивости, качественной теории нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, теории Калмана наблюдаемости и управляемости динамических систем и др.

Оценка содержания работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы. Полный объем диссертации составляет 134 страниц текста, 45 рисунков и 5 таблиц. Список литературы содержит 39 наименований, среди которых одиннадцать работ автора по теме диссертации. Семь наименований из них опубликованы в рецензируемых журналах и сборниках, индексируемых в международных базах Scopus, WoS, RDCI.

Во **введении** обосновывается актуальность работы, формулируется цель диссертации, подчеркивается междисциплинарный характер диссертации, ставятся математические постановки задач работы, указывается научная новизна и практическая значимость работы, формулируются основные результаты с поэтапным раскрытием научных результатов по главам в областях механики, биологии (биомеханики) и математики.

В **первой главе** рассматривается краткое описание вестибуло-окулярной системы и дается математическая постановка задачи коррекции. Впервые приведена функциональная схема влияния активности вертикальных каналов на прямые глазные мышцы на основе оксфордской полной таблицы функционального взаимодействия. Эта схема важна для интерпретации экспериментальных результатов третьей главы диссертации.

В первой главе приведена полная расширенная математическая модель биосенсора углового ускорения, которая была модифицирована автором диссертации путем добавления параметра инактивации калиевого тока по результатам экспериментов и представлением интеграла в новой форме. Численный анализ модели показал, что биосенсоры углового ускорения дают информацию об угловом **ускорении** только на медленные стимулы (пассивные повороты головы в горизонтальной плоскости), а в случае быстрых стимулов дают информацию только об угловой **скорости**.

Далее в первой главе проведен анализ двух типов задач коррекции, **автоматической** и **когнитивной**. Показано, что **автоматическая** коррекция

основывается на теории и практике корректируемых инерциальных навигационных систем (ИНС) в технике и связана с двумя видами коррекции АПН, **стабилизации** и **имитации**. Такая теория была разработана силами сотрудников и выпускников кафедры прикладной механики и управления мех.-мат. факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, начиная с 1970 годов.

Второй тип коррекции, грамотно названной **когнитивной**, основывается на корректирующих возможностях центральной нервной системы (ЦНС) как интеллектуальной системы через эфферентные первичные нейроны (ЭПН).

Во **второй главе** получен основной теоретический результат на основе исследования математической модели из первой главы. Осуществлен анализ модели. найдена точка бифуркации Андронова-Хопфа и два аттрактора, **точечный** (режим ожидания механического стимула) и **периодический** (рабочий режим АПН и ЭПН). Исследован **интервал** бифуркации и сделан важный вывод о бистабильности биосенсора. Была поставлена и решена задача об управляемом переходе из области точечного аттрактора в область периодического аттрактора. Сформулировано и доказано утверждение о возможности перехода между аттракторами с использованием положительного полурасстояния Хаусдорфа.

Этот основной теоретический результат позволил поставить и решить задачу **автоматической** коррекции активности вестибулярного АПН в виде задачи о переходе из области ожидания механического стимула в область генерации информационного ответа первичного нейрона. Для этого математическая модель АПН была аддитивно дополнена гальваническим током коррекции. Тем самым во второй главе был сделан основной шаг в обосновании автоматической коррекции вестибулярного аппарата.

В **третьей главе** описываются практические эксперименты в лаборатории и на орбите для проверки отработки алгоритма **автоматической** коррекции. Убедительно показано, что на практике

решение задачи автоматической коррекции вестибулярной активности пилота возможно в **двух** режимах:

- а) программной коррекции в случае пилотажно-динамического стенда;
- б) коррекции по показателям датчиков МЭМС, установленных на кресле пилота или на шлеме космонавта в реальном полете и сигнализирующих о начале экстремальной ситуации в полете.

В третьей главе также проведены три эксперимента по оценке возможности использования микроакселерометров для получения сигнала о начале поворота головы космонавта, позволяющих обосновать применимость гальванической коррекции в условиях микрогравитации в целях компенсации вестибулосенсорного конфликта.

Четвертая глава посвящена строгому решению задачи когнитивной коррекции на базе максиминного тестирования качества стабилизации управляемой системы. Доказано, что решение этой задачи совпадает с решением задачи минимаксной стабилизации, т.е. доказано наличие седловой точки. Как следствие этого, доказана возможность объективной оценки улучшения качества визуальной стабилизации как проявления улучшения качества соответствующего условного рефлекса у человека. Приведен пример тестирования процесса сближения технического устройства спасения космонавта с орбитальной станцией.

В заключении диссертации подведены итоги большой и важной научной работы автора.

Автореферат настоящей диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Некоторые **замечания** по работе:

1. В работе не обсуждаются перспективы развития тренажерной системы обучения космонавтов или пилотов с точки зрения использования в них элементов искусственного интеллекта. Особенно это становится

интересным в виду успешного решения проблемы когнитивной коррекции в четвертой главе диссертации.

2. В диссертации имеются некоторые стилистические неточности. На стр.7 (2 строка снизу), например, написано "... для накопления статистической достоверности..." правильнее было бы написать "... для повышения статистической достоверности..." или "... для накопления статистических данных ...".

3. В диссертации имеются некоторые описки. Например, на стр. 48 во втором дифференциальном уравнении вместо $\frac{dp_2}{dt}$ надо писать $\frac{dp_0}{dt}$. На стр. 120 в уравнении Ляпунова (4.10) вместо матрицы $S_2(k)$ должна быть матрица G из (4.2). В работе имеются некоторые другие редакционные описки, которые мной отмечены по тексту диссертации. На достоверность полученных автором в диссертации результатов найденные мной описки не влияют.

Заключение. Указанные замечания не умаляют высокой значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» (по физико - математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Соискатель Тихонова Катерина Владимировна безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико - математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Официальный оппонент:

Профессор Департамента анализа
данных, принятия решения
и финансовых технологий
федерального государственного
образовательного бюджетного
учреждения высшего образования
"Финансовый университет при
Правительстве Российской Федерации",
доктор физико - математических наук,

профессор

Чечкин Александр Витальевич

Контактные данные:

125993, Москва ГСП-3, Ленинградский пр-т, д. 49,
тел. 8(499)943-9855, e-mail: academy@fa.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.01.03 математическая физика;

01.01.07 вычислительная математика.

Подпись Чечкина А.В.

