

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук Тихоновой Екатерины Владимировны
«Математические задачи коррекции активности вестибулярных
механорецепторов» по специальности
01.02.01 – «Теоретическая механика»

В диссертации Тихоновой Екатерины Владимировны изучены и по новому решены две основные задачи компенсации и предотвращения нарушений функции вестибулярной системы человека. Первой задачей, рассмотренной в диссертации, является построение математической модели активности вестибулярных механорецепторов, а затем, опираясь на основные выводы, полученные в результате анализа и некоторых модификаций модели, обоснованно предложено использовать гальваническую стимуляцию вестибулярного аппарата в интересах повышения устойчивости к укачиванию человека в самых разнообразных условиях. Принимая во внимание, что вестибулярные расстройства характерны для очень высокого процента населения планеты, эта **работа представляет несомненный интерес, актуальна и практически значима.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Диссертация занимает 134 страницы текста, 45 рисунков и 5 таблиц.

Во введении кратко излагается структура работы, методология исследования, основные положения, выносимые на защиту, материалы, связанные с апробацией работы, а также публикации соискателя по теме диссертации.

В первой главе диссертации даётся краткое описание вестибуло-окулярной системы и постановка задачи коррекции. Здесь автор даёт обстоятельное физиологическое описание вестибулярных механорецепторов и на основе функциональных схем влияния активности и формирования информации предлагает существенно модифицированную, по результатам экспериментов, математическую модель активности вестибулярных механорецепторов. На основе созданной модели, дающей подробное представление о работе вестибуло-окулярного рефлекса, квалифицированно утверждается о возможности управления взором, с помощью гальванической коррекции. Приведены экспериментальные примеры коррекции и стабилизации взора на стендах и тренажерах.

Во второй главе диссертации рассматриваются вопросы автоматической коррекции активности вестибулярных механорецепторов с использованием микротоков для воздействия на вестибулярный аппарат. С помощью математической модели вестибулярного аппарата достаточно аккуратно продемонстрировано, что применение постоянно действующих гальванических возмущений создает возможности для решения задачи перехода к стабильной системе и возможности существенного уменьшения запаздывания взора оператора. При этом соискатель рассматривает два основных варианта коррекции; постоянный программный и корректируемый от сигналов микроакселерометров, измеряющих внешнюю динамическую обстановку. Обоснованны случаи использования на практике различных вариантов коррекции.

В третьей главе предлагаются практические предложения использования полученных математических результатов. Предложены планы проведения экспериментов на Земле (Россия –

МГУ им. М.В. Ломоносова и Мексика - Национальный институт астрофизики, оптики и электроники) и на околоземной орбите на борту Международной космической станции (космонавт к.б.н. С.Н. Рязанский экспедиции МКС-52/53), которые были успешно реализованы на практике и в дальнейшем обработаны и проанализированы автором диссертации. Экспериментально показано, что при применении гальванической коррекции наблюдается улучшение качества установки взора у оператора в несколько раз.

В четвёртой главе рассматривается создание алгоритма гарантированного тестирования качества визуальной стабилизации. Достаточно подробно разобрана задача решения дифференциальной игры между оптимальным регулированием и максимальными возмущениями, действующими на управляемую систему. На основании объективных критериев тестирования показано, что существует седловая точка наихудших начальных возмущений и наиболее оптимального алгоритма управления. В заключительной части четвёртой главы в качестве примера детально и тщательно рассмотрено тестирование процесса аварийного возвращения космонавта при выполнении внекорабельной деятельности к выходному люку космической станции. Разработана математическая модель визуального управления устройством спасения космонавта с дальности 20 м со средней скоростью 0,2 м/сек и потребным временем около 2 минут.

В заключении формируются основные научные результаты, выносимые автором на защиту.

Научное значение и новизна исследования, проведённого в диссертации, состоят, во-первых, в создании математической модели вестибуло-окулярной системы с последующим созданием алгоритма автоматической коррекции активности вестибулярных

механорецепторов и, во-вторых, в решении задачи применения гальванической автоматической коррекции вестибулярной активности с целью уменьшения запаздывания взора и повышения точности управления оператором, находящимся в экстремальных условиях.

Достоверность и обоснованность выполненных автором исследований базируется на основе классических математических моделей (Ходжкина и Хаксли, Колмогорова-Вентцель и др.), кроме того - на использовании основных теорий динамических систем (принцип максимума Понтрягина, теорема Малкина и т.д.). Все эти методы и утверждения, многие десятилетия используемые в решении разноплановых задач автоматического регулирования, показывают хорошую согласованность с результатами экспериментов, проводимых в лабораториях на Земле и Международной космической станции, поэтому справедливость, полученных решений, не вызывает сомнений.

Основные теоретические результаты диссертации получены соискателем самостоятельно, а постановка задачи автоматической коррекции была предложена научными руководителями работы.

В своей диссертации К.В. Тихонова показала уверенное владение знаниями о строении и функции вестибулярного аппарата и его взаимодействии со зрительным анализатором, а также способность проводить самостоятельные исследования влияния спектра ускорений, действующих на вестибулярный аппарат человека при двигательной активности в экстремальных условиях. Особенно хотелось бы отметить уверенное владение весьма сложными методами математического моделирования, нахождения решений дифференциальных игр между желаемым управлением объектом и случайно возникающими возмущениями, а также других разделов математической теории управления.

Работа написана чётким лаконичным языком, хорошо структурирована и оформлена, практически лишена опечаток. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации можно рекомендовать к использованию для разработки средств и методов вестибулярных тренировок в интересах прогнозирования и профилактики болезни движения оператора, а также создания автоматического корректора установки взора. Даже эти промежуточные результаты будут иметь значительный практический интерес при проведении подготовки операторов, работающих в экстремальных условиях и постоянном «жестком» временном дефиците (НИИ ЦПК им. Ю.А. Гагарина, ГЛИЦ им. В.П. Чкалова и ШЛИ им. А.В. Федотова). Научные результаты представляют несомненный интерес, и их можно рекомендовать к использованию при исследованиях, проводимых в МГУ им. М.В. Ломоносова, ИМБП РАН, ИПМ им. М.В. Келдыша).

По тексту диссертации можно сделать следующее замечание.

В разделе 4.2 приводится пример тестирования процесса сближения устройства спасения космонавта с орбитальной станцией. Безусловно проблема спасения космонавта, потерявшего контакт со станцией при внекорабельной деятельности, является в высшей степени актуальной - это первоочередная задача спасения жизни космонавта. Однако в настоящее время считается, что при возникновении чрезвычайной ситуации подобного рода, нельзя рассчитывать на последующие адекватные пилотажные действия оператора. Поэтому разрабатываются и уже созданы полностью автоматические схемы доставки космонавта к выходному люку станции. В то же время многократно чаще встречаются проблемы отказов при автоматической стыковке пилотируемых или грузовых кораблей доставки космонавтов или грузов на орбитальную станцию. (Только в соответствии с российской космической

программой ежегодно осуществляется около десяти стыковок космических аппаратов.) Возникновение нештатной ситуации при автоматической стыковке, как правило, приводит к продолжению сближения в ручном режиме. В этом случае использование режима гальванической коррекции с целью уменьшения запаздывания взора космонавта, ведущего пилотаж, существенно повысит точность стыковки и увеличит надёжность в целом этой необратимой операции. Оппоненту представляется практически более востребованным решение этой задачи, нежели чем приведённой в разделе 4.2.

Вместе с тем, это соображение не умаляет значимости диссертационного исследования. Диссертация «Математические задачи коррекции активности вестибулярных механорецепторов» отвечает всем требованиям, установленным в «Положении о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова» к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.01 – теоретическая механика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определённым в п.п. 2.1–2.5. «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова». Работа оформлена в строгом соответствии с приложением № 5, 6 «Положения о диссертационном совете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова».

Таким образом, **соискатель Тихонова Катерина Владимировна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».**

Официальный оппонент:

Доктор технических наук,

профессор механико-математического

факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,

член-корреспондент РАН,

Первый заместитель Генерального конструктора по лётной

эксплуатации и испытаниям ракетно-космических комплексов и

систем Ракетно-космической корпорации «Энергия»

им. С.П. Королёва



Соловьёв Владимир Алексеевич

«8» мая 2019 г

Контактные данные:

Тел.: 8(495)5138655, e-mail: post@rsce.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена докторская диссертация 05.07.09 – «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов».

Адрес места работы:

141070, Московская область, г. Королёв, ул. Ленина д. 4А.

Подпись официального оппонента, сотрудника организации д.т.н.,

профессора Соловьёва В.А. удостоверяю

Генеральный конструктор РКК «Энергия»,

д.т.н., профессор, Академик РАН

«8» мая 2019 г



Е.А. Микрин