

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

Диссертационная работа К.В. Тихоновой посвящена исследованиям и разработке возможностей использования технологии гальванической стимуляции в обеспечении методов автоматической (осуществляемой с минимальным участием человека) и когнитивной коррекции нарушений функций вестибулярных механорецепторов.

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений, поскольку она направлена на разработку путей коррекции активности ведущего канала полисенсорного комплекса, обеспечивающего нормальную деятельность основных систем управления организма, функции которых нарушены в связи с заболеваниями или влияниями вредных факторов рабочей среды, как это имеет место в практике пилотируемых космических полётов. Исследования, выполненные в интересах пилотируемой космонавтики, показали, что организация жизни и работы в условиях меняющейся гравитационной среды и сниженной или отсутствующей полностью гравитационной нагрузки связана закономерно с глубокими нарушениями деятельности вестибулярных механорецепторов (И.Б. Козловская и соавт., 1987, Л.Н. Корнилова и соавт., В. Cohen et al., A. Berthoz et al.), а также других основополагающих сигнальных систем сенсорного комплекса, что ставит вопрос о возможности создания нормальных условий для деятельности основных систем управления организма, а также о возможной их коррекции.

Научная новизна, степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Работу отличают очевидная новизна и современность подходов и выбранных решений, а также высокая степень

обоснованности сформулированных в работе научных положений, выводов и рекомендаций. Это подтверждается положениями разработанной в авторском коллективе МГУ под руководством ректора (В.А. Садовничий и соавт., 2018) математической модели, результатами экспериментов на вестибулярных клетках, выполненных широким международным рабочим коллективом (V.V. Alexandrov et al., 2015), а также результатами модельных экспериментов, подтвердивших возможность использования технологии гальванической стимуляции для коррекции по показаниям технических сенсоров нарушений функции вестибулярного аппарата в условиях микрогравитации. В частности, в наземных экспериментах, выполненных лично соискателем, убедительно продемонстрировано уменьшение при использовании гальванической коррекции ошибки установки взора, связанной с нарушениями в деятельности вестибулярного аппарата, и подтверждена большая целесообразность применения при создании автоматического корректора датчиков ускорений в сравнении с датчиками угловой скорости. Последние данные имеют особое значение для конструирования космического гальванического корректора вестибулярной функции.

Обоснованность и выводы высокой эффективности результатов работы подтверждены патентом на создание устройства автоматической коррекции установки взора человека в условиях микрогравитации, полученным в 2013 году за номером RV2500375C1, и рядом публикаций в высокорейтинговых научных изданиях.

Оценка содержания работы. Диссертационная работа представляет собой комплексное исследование по различным аспектам теоретической механики, что объясняет её нетрадиционное построение, в частности, исключение принятого в экспериментальных работах детального изложения обзора литературы и применяемых методов исследования и введения вместо этого части, касающейся с одной стороны – построения математической модели, в основу которой положены результаты анализа гипотез Ходжкина и

Хаксли (1949–1956 гг.), преформированные с привлечением основных теорем теории динамических систем на плоскости и результатов клеточных экспериментов, а с другой – большой раздел экспериментальных исследований, направленных на изучение возможностей гальванической коррекции вестибулярных нарушений. Первая часть исследований представляет собой программу гальванической коррекции выходных сигналов вестибулярного аппарата для имитации вестибуло-окулярного рефлекса; вторая – обоснование возможности гальванической коррекции вестибулярной активности пилота для улучшения визуального контроля качества полета с использованием способов имитации или нейтрализации вестибулярного стимула. При этом для обоснования возможности применения показаний микроакселерометра и фиксации момента начала гальванической коррекции функции вестибулярного аппарата космонавта соискателем был разработан план эксперимента, реализованный в рамках образовательной программы на Международной космической станции космонавтом С.Н. Рязанским.

Поставленные задачи последовательно раскрываются во введении, четырех главах и заключении работы, изложенной на 134 страницах, иллюстрированной 45 рисунками и 5 таблицами. Список публикаций по материалам диссертации представлен 11 работами, семь из которых – в рецензируемых журналах и сборниках, индексируемых в международных базах Scopus, WoS и др. Работа не содержит единого литературного обзора. Краткий обзор цитируемой литературы приводится во введении и других главах диссертации в соответствии с поэтапным раскрытием положений механики, биомеханики и математики.

Во **введении** обосновывается актуальность работы, формулируется её цель и задачи исследований, уточняется математическая постановка задач, указывается научная новизна и практическая значимость представляемой работы, приводится описание используемой методологии и методов исследований, формулируются основные выносимые на защиту положения.

В **первой главе** содержится краткое описание вестибуло-окулярной системы и формулируется математическая постановка задачи коррекции. При этом приводится созданная на основе оксфордской полной таблицы функционального взаимодействия функциональная схема влияния активности вертикальных каналов на прямые глазные мышцы. Эта схема важна для интерпретации экспериментальных результатов, представленных в третьей главе диссертации.

Здесь же приведена расширенная математическая модель биосенсора углового ускорения, модифицированная автором диссертации по результатам экспериментов и представлением интеграла в новой форме путём добавления параметра инактивации калиевого тока.

Далее в первой главе проведен анализ двух типов задач автоматической и когнитивной коррекции вестибулярной дисфункции. Показано, что в данном случае автоматическая коррекция основывается на теории и практике корректируемых инерциальных навигационных систем (ИНС) и связана с двумя видами коррекции АПН – стабилизации и имитации. Эта теория разрабатывалась силами сотрудников и выпускников кафедры прикладной механики и управления мех.-мат. факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, начиная с 1970 годов. Второй тип коррекции, когнитивный, базируется на корректирующих возможностях центральной нервной системы оказывать влияние на активность эфферентных первичных нейронов (ЭПН) через нисходящие пути.

Во **второй главе** рассматривается основной теоретический результат, вытекающий из исследований разрабатываемой математической модели. Получены численные результаты модели, найдена точка бифуркации Андронова-Хопфа и два аттрактора, точечный (режим ожидания механического стимула) и периодический (рабочий режим АПН и ЭПН). Этот результат позволил осуществить математический анализ модели в виде линейной системы в вариациях с применением некоторых элементов теории

грубых систем и решить задачу о переходе к бистабильной системе управления.

В третьей главе описывается динамика перехода к реализации гальванической автоматической коррекции вестибулярной активности. Идеи и планы экспериментов, выполненных в лаборатории на орбите, исходно были предложены соискателем, им же обработаны и проанализированы данные эксперимента, проведенного космонавтом С.Н. Рязанским. При этом было показано, что на практике решение задачи автоматической коррекции нарушенной вестибулярной активности пилота возможно в двух режимах: программной коррекции в случае пилотажно-динамического стенда и коррекции по показателям датчиков МЭМС, установленных на кресле пилота или на шлеме космонавта в реальном полёте и сигнализирующих о начале экстремальной ситуации в полёте.

Четвертая глава, посвящённая подходам к решению задачи когнитивной коррекции на базе максиминного тестирования качества стабилизации управляемой системы, предполагает использование возможности коррекции параметров активности афферентных первичных нейронов ЦНС по сигналам, поступающим через первичные эфферентные нейроны. Возможности такой коррекции возрастают при тренировках на стендах-тренажерах, условия которых максимально приближены к реальным. Для экспериментальной оценки эффективности когнитивной коррекции приведен пример тестирования процесса сближения технического устройства спасения космонавта с орбитальной станцией.

В заключении диссертации представлены основные выводы проведенных исследований.

Автореферат настоящей диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Вместе с тем, диссертация существенно выиграла бы, если бы при написании автор использовал традиционное классическое её построение. Отсутствие главы, объединяющей все разделы литературного обзора,

затрудняет восприятие работы как единого целого, подчеркивая её «кусочный», местами мало связанный характер положений и заключений. То же справедливо и для обычно включаемой в содержание диссертаций главы «Методология и методы исследования». Отсутствие подробного описания экспериментальных методов и аналитических подходов, методик определения достоверности получаемых данных при обширности и разнообразии фактического материала обуславливает порой появление большого числа вопросов, затрудняя понимание полученных результатов.

Диссертация несомненно выиграла бы также, если бы автор уточнил методы оценки достоверности полученных экспериментальных результатов, сделав столь важные сформулированные им заключения более доказательными.

Заключение. Указанные замечания ни в коей мере не умаляют высокой значимости представленного диссертационного исследования.

По результатам изучения диссертации, автореферата и публикаций соискателя по теме диссертации, можно заключить, что автором выполнена работа на **актуальную** тему, сформулированные в работе научные положения, выводы и рекомендации **обоснованны и достоверны**. 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), критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Таким образом, соискатель **Тихонова Катерина Владимировна** заслуживает присуждения ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Государственного научного центра
Российской Федерации – Института
медико-биологических проблем Российской
академии наук,
доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Козловская Инеса Бенедиктовна

Контактные данные:

тел.: _____, e-mail: ikozlovs@mail.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
03.00.13 физиология.

Адрес места работы:

123007, Москва, Хорошевское шоссе, д.76А,
тел. 8(499)195-2253, e-mail: info@imbp.ru

Подпись официального оппонента, сотрудника организации д.м.н.,
проф., член-корр. РАН Козловской И.Б. удостоверяю

Заместитель директора ГНЦ РФ – ИМБП РАН

д.м.н., проф., член-корр. РАН

Л.Б. Буравкова

08 » мая 2019 г.