

*На соискание премии М.В. Ломоносова.*

**Цикл работ «Математическое обеспечение технологий виртуальной реальности-Динамическая и Гальваническая имитация управляемого движения в экстремальных условиях»**

**Александров Владимир Васильевич**  
доктор физико-математических наук,  
заслуженный профессор  
**механико-математический факультет**  
заведующий кафедрой  
прикладной механики и управления



**Аннотация работы:**

В научных работах В.В. Александрова рассматривается реакция вестибулярных механорецепторов на механическое воздействие в экстремальных ситуациях визуального управления движением объекта. При этом проводится анализ и синтез двух возможных вариантов коррекции функционирования вестибулярного аппарата .

Первый вариант.

Динамическая имитация механических воздействий на вестибулярный аппарат пилота (космонавта), реализуемая на пилотажно-динамических стендах и центрифугах с управляемой кабиной в кардановом подвесе - коррекция механического воздействия на «вход» вестибулярного аппарата.

Результаты, полученные В.В. Александровым по разработке математического обеспечения этого варианта, были отмечены Государственными премиями СССР(1988г.) и РФ(2002г.).

Второй вариант.

Гальваническая стимуляция вестибулярного аппарата с целью коррекции его выходного сигнала, формируемого афферентными первичными нейронами - коррекция на «выходе» вестибулярного аппарата.

Разработка этого варианта была осуществлена В.В. Александровым в 2011–2021 годах. Создание математического обеспечения для 2-го варианта коррекции началось в 2011 году после проведения и математической обработки экспериментов на клеточном уровне, проведённых в лаборатории нейрофизиологии Заслуженного Автономного университета г. Пуэбла де Сарагоса (Мексика).

По результатам этих экспериментов была разработана математическая модель афферентных первичных нейронов (АПН) вестибулярного аппарата типа Ходжкина-Хаксли.

На основе математического анализа полученной модели В.В. Александровым было создано новое направление в развитии метода В.К.Мельникова-Э.Симиу - «Управляемые переходы в бистабильных динамических системах», дающее возможность формирования в рамках теории оптимального управления алгоритмов перехода из области притяжения одного аттрактора в область притяжения другого аттрактора.

В рамках созданного направления был предложен алгоритм гальванической стимуляции, позволяющий корректировать выходной сигнал с АПН с целью имитации или коррекции соответствующего механического воздействия на вестибулярный аппарат пилота (космонавта).

Эксперименты на системном уровне на пилотажно-динамических стендах Национального Института Астрофизики, Оптики и Электроники (Мексика) и лаборатории Математического обеспечения имитационных динамических стендов МГУ подтвердили возможность реализации технологии гальванической стимуляции (ГВС) для пилотов при визуальном управлении полётом в экстремальных ситуациях

Таким образом, стало возможным разработка и создание математического обеспечения пилотажно-динамических стендов и космических тренажёров, использующего комбинацию обоих вариантов коррекции вестибулярного аппарата.





## СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ (с 2011 по 2021 гг.)

д. ф.-м. н., проф. АЛЕКСАНДРОВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ

### Книги:

**2018** Лекции по механике управляемых систем

Александров В.В., Лемак С.С., Парусников Н.А.  
Москва Изд-во КУРС

**2017** Задачи о детерминированном и хаотическом переходах

в бистабильных системах на плоскости.

Александров В.В., Бугров Д.И., К.В. Тихонова

Часть 1. Детерминированный переход в бистабильной системе

Издательство Московского университета

**2012** Introduccion a la modelacion matematica de sistemas dinamicos controlables.

Alexandrov V.V., Bolotin Yu.V., Lemak S.S.

Fomento Editorial de la BUAP

### Статьи:

**2021** Algorithms of Dynamic Piloted Flight Simulator Stand Based on a Centrifuge with a Controlled Cardan Suspension

Alexandrov V.V., Lemak S.S.

в журнале *Journal of Mathematical Sciences*, издательство *Plenum Publishers (United States)*, том 253, № 6, с. 768-777 DOI

**2021** Множество достижимости и робастная устойчивость возмущаемых колебательных систем

Александров Владимир Васильевич, Бугров Д.И., Жермоленко В.Н., Коноваленко И.С.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 1, с. 67-71

**2021** Модификация модели Ходжкина-Хаксли и математическая интерпретация основного закона нейрофизиологии "Все или ничего"

Александров Владимир Васильевич, Александрова Ольга Владимировна, Козик Игорь

Александрович, Семенов Юрий Станиславович

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 3, с. 67-70

**2019** Galvanic correction of pilot's vestibular activity during visual flight control

Sadovnichii V.A., Aleksandrov V.V., Aleksandrova O.V., Vega R., Konvalenko I.S., Soto E., Tikhonova K.V., Gordillo-Domínguez J.L., Gonzalez O.

в журнале *Moscow University Mechanics Bulletin*, издательство *Allerton Press Inc. (United States)*, том 74, № 1, с. 1-8 DOI

**2019 О гальванической коррекции вестибулярной активности пилота при визуальном управлении полетом**

Садовничий В.А., Александров В.В., Александрова О.В., Вега Р., Коноваленко И.С., Сото Э., Тихонова К.В., Гордильо-Домингес Х.Л., Гонзалес О.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 1, с. 34-41

**2018 A minimax stabilization algorithm for the third-order linear systems**

Aleksandrov V.V., Ramirez Gutierrez Kh A.

в журнале *Moscow University Mechanics Bulletin*, издательство *Allerton Press Inc. (United States)*, том 73, № 2, с. 33-38 DOI

**2018 The IMISS-1 Experiment for Recording and Analysis of Accelerations in Orbital Flight**

Sadovnichii V.A., Alexandrov V.V., Bugrov D.I., Lemak S.S., Pakhomov V.B., Panasyuk M.I., Petrov V.L., Yashin I.V.

в журнале *Space Science Reviews*, издательство *Springer Nature (Switzerland)*, том 214, № 2, с. 1 DOI

**2018 Алгоритм минимаксной стабилизации линейных систем третьего порядка**

Александров В.В., Рамирез Гутьерез Х.А.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № №2., с. 47-52

**2018 Алгоритмы динамической имитации для стенда-тренажера пилотируемых полетов на базе центрифуги с управляемым кардановым подвесом**

Александров В.В., Лемак С.С.

в журнале *Фундаментальная и прикладная математика*, издательство *Интуит (М.)*, том 22, № 2, с. 3-16

**2018 Математическое моделирование информационного процесса в биосенсоре углового ускорения**

Александров В.В., Александрова Т.Б., Вега Р., Садовничий В.А., Сидоренко Г.Ю., Сото Э., Тихонова К.В., Шуленина Н.Э.

в журнале *Фундаментальная и прикладная математика*, издательство *Интуит (М.)*, том 22, № 2, с. 3-18

**2018 О технологиях виртуальной реальности в космонавтике**

Садовничий В.А., Александров В.В., Александрова Т.Б., Коноваленко И.С., Тихонова К.В., Вега Р., Сото Э., Гордильо-Домингес Х.Л., Гонсалес О.

в журнале *Идеи и новации*, том 8, № 3, с. 8-15

**2017 2017 Возмущаемые стабильные системы на плоскости,2**

Александров В.В., Александрова Т.Б., Коноваленко И.С., Тихонова К.В.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 1, с. 54-57

**2017 Tent-method application for minmax stabilization and maxmin testing**

Alexandrov V.V., Bugrov D.I., Corona Morales G., Tikhonova K.V.

в журнале *IMA Journal of Mathematical Control and Information*, издательство *Oxford University Press (United Kingdom)*, том 34, № 1, с. 15-25 DOI

**2017 The modified Hodgkin-Huxley's model and correction of the vestibular function activity**

Alexandrov Vladimir V., Tamara Alexandrova, Alicia Angeles Vazquez, Nelly Shulenina, Rosario Vega, Enrique Soto, Katerina Tikhonova

в журнале *Journal of Otology & Rhinology*, том 6, № 5, с. 48-48

## **2016 Возмущаемые стабильные системы на плоскости, I**

Александров В.В., Александрова О.В., Коноваленко И.С., Тихонова К.В.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 5, с. 30-36

## **2016 ПОСТРОЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА С ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДОЙ**

Александров В.В., Бурдин Б.В., Крючков Б.И., Усов В.М., Чертополохов В.А.

в журнале *Авиакосмическая и экологическая медицина*, издательство *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (Москва)*, том 50, № 5, с. 6-7

## **2015 An Output Signal Correction Algorithm for Vestibular Mechanoreceptors to Simulate Passive Turns**

Aleksandrov V.V., Alexandrova T.B., Vaskes Angeles A., Vega R., Reyes Romero M., Soto E., Tikhonova K.V., Shulенина N.E.

в журнале *Moscow University Mechanics Bulletin*, издательство *Allerton Press Inc. (United States)*, том 70, № 5, с. 130-134

## **2015 Алгоритм коррекции выходных сигналов вестибулярных механорецепторов для имитации пассивного поворота**

Александров В.В., Александрова Т.Б., Ангелес Вазкез А., Вега Р., Рейес Ромеро М., Сото Э., Тихонова К.В., Шуленина Н.Э.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, том 70, № 5, с. 67-71

## **2014 Робастная устойчивость управляемых систем третьего порядка**

Александров В.В., Зуева И.О., Сидоренко Г.Ю.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 1, с. 39-45

## **2013 Extremals in the kinematic control of motion**

Aleksandrov V.V., Aleksandrova O.V., Budninskii M.A., Sidorenko G.Yu

в журнале *Moscow University Mechanics Bulletin*, издательство *Allerton Press Inc. (United States)*, том 68, № 3, с. 61-68 DOI

## **2013 Математическое моделирование коррекции выходного сигнала с гравитоинерциального механорецептора вестибулярного аппарата**

Садовничий В.А., Александров В.В., Александрова Т.Б., Коник А.А., Пахомов В.Б., Сидоренко Г.Ю., Сото Э., Тихонова К.В., Шуленина Н.Э.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 5, с. 54-59

## **2013 Об экстремальных кинематического управления движением**

Александров В.В., Александрова О.В., Буднинский М.А., Сидоренко Г.Ю.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 3, с. 3

## **2012 Optimal synthesis in the time minimization problem under phase constraints**

Aleksandrov V.V., Belen'kii A.D., Lebedev A.V., Matlalcuatzi Rugerio E.

в журнале *Moscow University Mechanics Bulletin*, издательство *Allerton Press Inc. (United States)*, том 67, № 1, с. 23-27 DOI

## **2012 Output integral sliding mode control to stabilize position of a Stewart platform**

Fraguela L., Fridman L., Alexandrov V.V.

в журнале *Journal of the Franklin Institute*, издательство *Elsevier Ltd. (Amsterdam, Netherlands)*, том 349, с. 1526-1542 DOI

## **2012 Position stabilization of a Stewart platform: High-order sliding mode observers based approach**

Fraguela L., Fridman L., Alexandrov V.V.

в журнале *Journal of the Franklin Institute*, издательство *Elsevier Ltd. (Amsterdam, Netherlands)*, том 349, с. 441-455 DOI

## **2012 Автоматическая коррекция установки взора при**

визуальном управлении в экстремальных условиях орбитального полета

Садовничий В.А., Александров В.В., Александрова Т.Б., Сидоренко Г.Ю., Сото Э., Тихонова К.В.

в журнале *Интеграл*, издательство *Энергоинвест (М.)*, № 1, с. 70-74

## **2012 Об автоматической коррекции вестибуло-сенсорного конфликта в условиях невесомости, основанной на принципе гальванической стимуляции и на компьютерном моделировании**

Садовничий В.А., Александров В.В., Александрова Т.Б., Сото Э., Сидоренко Г.Ю., Тихонова К.В.

в журнале *Интеграл*, издательство *Энергоинвест (М.)*, № 2 (64), с. 70-74

## **2012 Оптимальный синтез в задаче быстродействия при наличии фазовых ограничений**

Александров В.В., Беленький А.Д., Лебедев А.В.

в журнале *Вестник Московского университета*, издательство *Ред. журн. (М.)*, том 1, № 1, с. 67-71

## **2011 Generation of output information in the vertical semicircular canals academician**

Sadovnichy V.A., Alexandrov V.V., Alexandrova T.B., Sidorenko G.Yu., Shulenina N.E.

в журнале *Doklady Biological Sciences*, издательство *Pleiades Publishing, Ltd (Road Town, United Kingdom)*, том 441, с. 350-353 DOI

## **2011 Information process in the lateral semicircular canals**

Sadovnichy V.A., Alexandrov V.V., Alexandrova T.B., Vega R., Soto E.

в журнале *Doklady Biological Sciences*, издательство *Pleiades Publishing, Ltd (Road Town, United Kingdom)*, том 436, с. 1-5 DOI

## **2011 Investigations of the space environment aboard the Universitetsky-Tat'yana and Universitetsky-Tat'yana-2 microsatellites**

Sadovnichy V.A., Panasyuk M.I., Yashin I.V., Barinova V.O., Veden'kin N.N., Vlasova N.A., Garipov G.K., Grigoryan O.R., Ivanova T.A., Kalegaev V.V., Klimov P.A., Kovtyukh A.S., Krasotkin S.A., Kuznetsov N.V., Kuznetsov S.N., Murav'eva E.A., Myagkova I.N., Nymmik R.A., Pavlov N.N., Parunakyan D.A., Petrov A.N., Petrov V.L., Podzolkov M.V., Radchenko V.V., Reisman S.Ya., Rubinshtein I.A., Riazantseva M.O., Sigaeva E.A., Sosnovets E.N., Starostin L.I., Tulupov V.I., Khrenov B.A., Shakhparonov V.M., Shirokov A.V., Bobrovnikov S.Yu., Aleksandrov V.V., Lee J., Park I.

в журнале *Solar System Research*, издательство *Pleiades Publishing, Ltd (Road Town, United Kingdom)*, том 45, № 1, с. 3-29 DOI

**2011 Информационный процесс в латеральных полукружных каналах**

Садовничий В.А., Александров В.В., Александрова Т.Б., Вега Р., Сото Э.

в журнале *Доклады Академии наук*, издательство *Наука (М.)*, том 436, № 1, с. 129-132

**2011 Оценка точности ориентации по телеметрии спутника "Татьяна-2"**

Александров В.В., Беленький А.Д., Бугров Д.И., Лебедев А.В., Лемак С.С., Герреро Санчез В.Ф.

в журнале *Вестник Московского университета. Серия 1: Математика. Механика*, издательство *Изд-во Моск. ун-та (М.)*, № 3, с. 69-72

**2011 Формирование выходной информации в вертикальных полукружных каналах**

Александров В.В., Садовничий В.А., Александрова Т.Б., Сидоренко Г.Ю., Шуленина Н.Э.

в журнале *Доклады Академии наук*, издательство *Наука (М.)*, том 441, № 1, с. 122-125