

# **Основные результаты поисковой научно-исследовательской работы по Государственному контракту №14.740.11.0348 от 20 сентября 2010 г.**

**Тема НИР:** «Развитие методов исследования бифуркаций в задачах переходной динамики и их приложение к биофизическим системам»

## **1. Цель проекта**

1. Проект направлен на решение перспективной проблемы мирового уровня – развитие методов теории динамических бифуркаций для изучения явлений и процессов в системах, с так называемой, переключательной динамикой, а также методов восстановления операторов эволюции (локальных и глобальных) по временным рядам, порожденным слабонеавтономными динамическими системами.
2. Целью настоящего проекта является развитие и обобщение существующего аппарата теории динамических бифуркаций с целью сделать его эффективным инструментом изучения моделей с переключательной динамикой, возникающих при исследовании пространственно-временных процессов в нейронных и климатических системах. Построение в рамках этого аппарата методик исследования бифуркационных механизмов генерации и трансформации пространственно-временной активности нейронных систем, связанной с выполнением некоторых когнитивных функций. Разработка подхода к решению задачи построения моделей климатических систем в виде низкоразмерных случайных динамических систем.

## **2. Основные результаты**

Разработана методика исследования динамических бифуркаций, происходящих в системах с медленно меняющимся внешним воздействием. Предложенная методика использована для исследования эффектов затягивания, возникающих при динамических субкритической и суперкритической бифуркациях Андронова-Хопфа и двукратного предельного цикла.

Разработана методика формирования осцилляторных метастабильных состояний с использованием аппарата теории динамических бифуркаций. На основе данной методики построены сетевые модели переключательной нейронной активности, представляющие собой высокоразмерные системы нелинейных дифференциальных уравнений. Проведенное сопоставление результатов математического моделирования переключательной активности нейронных систем с результатами экспериментальных нейрофизиологических данных продемонстрировало их хорошее качественное соответствие.

Разработана методика описания режимов переключательных состояний с помощью символической динамики. В основе методики лежит возможность описания синапса ограниченным набором дискретных состояний и наличие связи между состоянием нейрона и уровнем активности соответствующего синапса. Анализ переходов между дискретными состояниями синапсов позволяет установить возможные режимы последовательной переключательной активности, реализующиеся в рассматриваемой нейронной сети.

Разработаны алгоритмы, предназначенные для моделирования переключательной динамики в крупномасштабных нейронных сетях. Алгоритмы обобщены в виде

псевдокодов, что позволяет реализовать их на любом из используемых языков программирования.

Разработана методика расчета стимул-индуцированных переключательных последовательностей и их информационных характеристик, таких как среднее количество спайков генерируемых нейронами в активной фазе, последовательность активации нейронов ансамбля и характерное время качественного повторения переключательных последовательностей. Представленная техника включает в себя построение однозначно определенного для ансамбля синаптического клеточного автомата, нахождение всех его аттракторов и исследование их свойств.

Предложен последовательный Байесов подход к глобальной реконструкции высокоразмерных динамических систем. Предложенный подход позволяет строить параметризованные модели высокоразмерных динамических систем в виде низкоразмерных случайных динамических систем. Показано, что такие модели, будучи существенно более низкоразмерными, воспроизводят качественное поведение исходной динамической системы на наблюдаемом участке и позволяют осуществлять корректный прогноз поведения в будущем.

В рамках предложенного подхода к реконструкции разработан метод оптимального выбора архитектуры стохастических моделей высокоразмерных систем. Разработанный метод позволяет сделать обоснованный выбор в пользу наиболее эффективной, с точки зрения Байесова подхода, модели из всего многообразия моделей на заданном классе функций.

Разработан алгоритм построения прогноза катастрофических бифуркаций в слабонеавтономных динамических системах, сопровождающихся резкими изменениями количественных характеристик наблюдаемого процесса. Этот алгоритм позволяет построить вероятностный прогноз, позволяющий делать выводы как о самом факте существования катастрофической бифуркации в наблюдаемой системе, так и о приблизительном времени ее наступления.

Разработаны математические модели динамических систем, определяющих протекание региональных климатических процессов. В частности, построены параметризованные модели в виде случайных динамических систем, корректно описывающие и прогнозирующие динамику явления Эль-Ниньо. В качестве источника данных использовались четыре концептуальные модели, описывающие динамику Эль-Ниньо. Три из них формально бесконечномерные модели в виде дифференциальных уравнений с запаздыванием: модель Гила, модель Ципермана и модель Галанти-Ципермана. Четвертая - модель Джина-Нилина, представляет собой систему в виде дифференциальных уравнений в частных производных.