

**ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**  
**на выпускную квалификационную работу обучающегося СПбГУ**  
**Горбовой Анастасии Владимировны по теме “Применение эволюционных**  
**методов для идентификации хаотических систем”**

Изучение свойств и особенностей объектов с помощью современных методов обработки информации основывается на построении математической модели изучаемого объекта по наблюдаемым входным и выходным данным (сигналам). Построение математической модели объекта по экспериментальным данным называется идентификацией и включает определение его структуры и параметров. Объектом идентификации может быть устройство, явление или процесс, т.е. некоторая реальная система. В математике функции, операторы, функционалы, отображения, уравнения (дифференциальные, интегральные) являются, по сути, абстрактными математическими моделями систем. В реальной жизни под математической моделью системы понимают только ту из абстрактных математических моделей, которая имеет под собой реальную прикладную задачу (в физике – это законы природы; в технике – реальные устройства; в биологии – модели реальных биологических процессов). Поэтому идентификация математических моделей включает выбор абстрактной математической модели и обоснование ее применимости для реальной конкретной модели на основе экспериментальных данных.

В связи с обнаружением и широким изучением систем с хаотической динамикой стала востребованной задача идентификации таких систем. Первые системы с хаотической динамикой, получившие широкую известность, это системы Лоренца, Ресслера и др. Это как правило слабо нелинейные динамические системы, описываемые системами дифференциальных уравнений порядка выше третьего. Причина появления хаотических режимов в таких системах состоит в нелинейной природе динамической системы и в свойстве ее неустойчивости, проявляющемся в быстром экспоненциальном разбегании первоначально близких траекторий: при достаточно большом удалении состояния системы от начального включаются нелинейные механизмы, возвращающие траекторию в окрестность начальной точки, неустойчивость ее вновь отбрасывает, и за счет этого происходит "беспорядочное" запутывание траектории. Характерной особенностью систем с хаотической динамикой является наличие у таких систем аттракторов - замкнутых инвариантных притягивающих множеств. Идентификация систем с хаотической динамикой имеет определенные сложности. Например, фундаментальной особенностью любых систем с хаотической динамикой является существование режимов хаотической динамики в узком диапазоне значений параметров системы.

Целью выпускной квалификационной работы Горбовой А.В. являлась разработка и реализация новых подходов к решению задачи идентификации хаотических динамических систем на основе эволюционных алгоритмов. Эволюционные вычисления являются одним из направлений в рамках, так называемых, технологий искусственного интеллекта и представляют собой метаэвристические методы решения оптимизационных задач, базирующиеся на биологических принципах эволюции (скрещивание, мутация, отбор). В отличие от других оптимизационных методов (например, градиентных), эволюционные алгоритмы можно применять для более общих классов целевых функций без требования их дифференцируемости. Это свойство и решено было использовать в работе Горбовой А.В.

при разработке новых подходов к решению задачи параметрической идентификации. Так возникла идея дополнить часто используемую в экспериментах схему решения задачи идентификации (которая сводится к решению некоторой оптимизационной задачи поиска минимума целевой функции) использованием рассмотрением новых классов целевых функций, включающих характеристики для описания хаотических систем. В работе Горбовой А.В. в качестве таких характеристик рассматривается спектр показателей Ляпунова, который используется в численных экспериментах как один из индикаторов хаоса. В качестве исследования возможностей эволюционных алгоритмов в рамках этой задачи перед Горбовой А.В. были поставлены следующие задачи:

- 1) Для решения задачи параметрической идентификации изучен и реализован на языке программирования Python алгоритм дифференциальной эволюции: подобраны оптимальные параметры алгоритма, реализована подходящая целевая функция.
- 2) Исследованы основные подходы для решения задачи параметрической идентификации, основанные на поиске экстремумов функционала, описывающего среднее квадратичное отклонение траекторий (временных рядов) идентифицируемой и подстраиваемой систем. В рамках изучения данных подходов повторены существующие результаты идентификации для нехаотической системы, описывающей работу электродвигателя постоянного тока. Выявлены недостатки данных подходов к решению задачи параметрической идентификации при переходе к хаотическим системам.
- 3) Реализован новый подход, в рамках которого в целевой функции рассматривается отклонение уже не траекторий, а спектров показателей Ляпунова. Как результат, в экспериментах на хаотической системе Лоренца получена более точная идентификация параметров.

Все поставленные в работе задачи успешно выполнены: был создан эффективный набор вычислительных процедур на языке Python, основанный на алгоритме дифференциальной эволюции, который, на примере хаотической системы Лоренца, показал хорошие результаты параметрической идентификации. При подготовке выпускной квалификационной работы Горбова А.В. проявила себя творческим исследователем, способным самостоятельно и на высоком уровне выполнять научную работу. Считаю, что работа Горбовой А.В. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к бакалаврским ВКР и заслуживает оценки "отлично". Исходя из вышесказанного, мне, как научному руководителю, также хотелось бы рекомендовать Горбову А.В. к поступлению в магистратуру (образовательная программа «Математическое моделирование, программирование и искусственный интеллект») и надеяться на продолжение совместной научной работы уже в рамках магистратуры.

д. ф.-м. н., проф. Мокаев Т.Н.

21 мая 2021 г.

