

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента Лакман Ирины Александровны на диссертационную работу АБОТАЛЕБА Мостафы Салахелдина Абделсалама на тему «Алгоритмы прогнозирования временных рядов на основе взвешенного метода наименьших модулей», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 – теоретическая информатика, кибернетика

Актуальность диссертационного исследования М.С.А. Аботалеба обусловлена тем, что разработанный математический подход позволяет явно получать качественные квазилинейные разностные уравнения до пятого порядка включительно. Данные уравнения адекватно описывают рассматриваемый процесс во времени и могут использоваться для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования. В настоящее время повышение точности и скорости определения диагностических признаков является важным направлением исследований, потому актуальна разработка точных методов, которые, в отличие от нейросетевых подходов, позволяют представить динамический процесс при помощи уравнений.

Цель диссертационного исследования М.С.А. Аботалеба заключается в разработке методов определения коэффициентов моделей для прогнозирования процессов, представленных в виде дискретных временных рядов.

Для выполнения данной цели М.С.А. Аботалебом были решены следующие задачи:

1. Разработан метод квазилинейного детерминированного анализа моделей нелинейной динамики для решения задачи прогнозирования развивающихся процессов. В качестве целевой функции для минимизации невязок использована функция, повышающая устойчивость модели к выбросам, что позволило получить более точные прогнозы.
2. Разработана система прогнозирования временных рядов с возможностью подключения дополнительных модулей. Система имеет возможность вывода значений погрешностей прогнозирования для дальнейшего выбора экспертом лучшей модели для использования.
3. Проведены вычислительные эксперименты для рассмотренных в работе математических моделей с применением разработанной системы прогнозирования.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации составляет 182 страницы, объем библиографии – 22 страницы.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования и изучается степень ее разработанности; формулируются цели и задачи диссертационного исследования; раскрывается новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов; формулируется методологическая основа диссертационного исследования; дается краткий обзор содержания диссертации.

В первой главе проанализированы существующие методы прогнозирования временных рядов (статистические, нейросетевые, методы, использующие дифференциальные и разностные уравнения) и приведено их сравнение. Показано, что большинство из известных в настоящее время методов применимы для краткосрочного прогнозирования, поэтому актуальна задача разработки математического подхода, позволяющего в явном виде получать качественные квазилинейные разностные уравнения (адекватно описывающие рассматриваемый процесс).

Во второй главе приведен разработанный диссертантом алгоритм определения и оценки параметров квазилинейного рекуррентного уравнения. Новизна данного подхода заключается в том, что он вместо метода наименьших квадратов использует обобщенный метод наименьших модулей с подбором весов. Решаемая задача оценки является задачей многоэкстремальной оптимизации. В диссертационной работе для ее решения разработан полиномиальный алгоритм, доказана его результативность. С помощью итеративной процедуры оптимизации на каждом шаге алгоритма пересчитываются веса и остатки для достижения более точного решения. Приведены способы определения избыточных коэффициентов модели.

В третьей главе рассмотрено созданное программное обеспечение, позволяющее строить прогноз для выбранного пользователем временного ряда и периода с использованием любой из рассмотренных в первой главе моделей (классические статистические методы, методы машинного обучения, методы глубокого обучения) и разработанных диссертантом алгоритмов. Для достижения этой цели был разработан ряд программных модулей, объединенных в одну систему.

В четвертой главе на основе анализа временных рядов с данными из различных областей (сельское хозяйство, климатология, эпидемиология) с

помощью обобщенного метода наименьших отклонений был определен оптимальный порядок построенной модели для каждого случая и исследована значимость полученных коэффициентов.

В заключении в краткой форме излагаются итоги выполненного диссертационного исследования; представляются отличия данной работы от ранее выполненных родственных работ других авторов; формулируются основные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту; рассматриваются направления дальнейших исследований в данной области.

Текст диссертации хорошо структурирован и написан грамотным научным языком. **Текст автореферата** достаточно полно и адекватно отражает содержание диссертации. Диссертационное исследование и полученные результаты соответствуют паспорту специальности 1.2.3 – теоретическая информатика, кибернетика.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается результатами вычислительных экспериментов над реальными данными, проведенными в соответствии с общепринятыми стандартами, выполнено сравнение полученных результатов с известными аналогами. Исходные тексты разработанных программных модулей размещены в свободных Интернет-репозиториях.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем. Разработан новый метод определения коэффициентов разностного квазилинейного уравнения на основе метода наименьших модулей. Приведен алгоритм, который позволяет, используя полученное уравнение, прогнозировать развивающиеся процессы. Метод позволяет эффективно минимизировать значение функции потерь. Реализован подход к выявлению закономерностей в данных и прогнозирования одномерного временного ряда, позволяющая получить результаты построения прогноза с использованием разработанного метода, а также статистических, нейросетевых и квазилинейных моделей, проанализировать погрешности прогнозирования и выбрать лучшую модель для работы с конкретными исходными данными.

Теоретическая ценность диссертационного исследования обусловлена решением актуальных задач обнаружения закономерностей развивающихся процессов с применением современного математического аппарата. Возможность учета нелинейности позволяет использовать полученные модели

в различных областях знаний, где требуется получить качественные уравнения, описывающие процесс во времени.

Практическая ценность диссертационного исследования заключается в том, что разработанные алгоритмы реализованы в виде программного обеспечения, позволяющего, во-первых, получать прогнозные значения для временных рядов с использованием как авторских, так и классических методов, во-вторых, проводить сравнительный анализ результатов работы методов и выбора лучших алгоритмов для обнаружения закономерностей в заданном наборе данных. Показано, что результаты, изложенные в диссертации, могут быть использованы в прогнозировании социальных, экономических, природных явлений, в медицине, промышленности и пр.

Публикации и апробация. По результатам диссертационной работы опубликовано 7 печатных работ, включая 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в ядро РИНЦ и категории K1 и K2 Перечня ВАК, 3 статьи в зарубежных журналах, приравненных к журналам категории K1 Перечня ВАК, индексируемых в квартилях Q1 и Q2 библиографических баз данных Scopus и Web of Science. Получено 5 свидетельств Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ. Публикации с достаточной полнотой отражают основные результаты диссертации. Результаты исследования прошли апробацию на 17 международных и всероссийских научных конференциях.

В качестве **замечаний** к диссертационной работе М.С.А. Аботалеба можно отметить следующие.

1. В работе желательно было подробнее описать тестирование на тип случайного процесса, лежащего в основе временных рядов (например, на основе процедур Доладо-Сосвилло-Дженкинсона-Риверо), так как это может, в том числе, определять выбор метода прогнозирования.
2. При разработке алгоритмов прогнозирования следовало подробнее указать ограничения его применения (то есть указать для каких временных рядов данный алгоритм применяться не может).
3. Тестирование применимости разработанных моделей прогнозирования также можно было провести на слепой валидационной выборке, а не только на ретроспективных данных.

Данные замечания не снижают общего высокого научного уровня диссертационной работы и значимости полученных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация М.С.А. Аботалеба представляет собой самостоятельно выполненную и законченную научно-квалификационную работу, в которой автором разработаны и исследованы новые методы и алгоритмы определения коэффициентов квазилинейного рекуррентного уравнения для анализа динамических процессов, представленных временными рядами. Полученные результаты имеют существенное значение для проведения прикладных исследований в различных областях: от промышленности до медицины и социально-экономических приложений. Диссертационное исследование по своим актуальности, научной новизне, практической значимости, личному вкладу автора, публикациям в рецензируемых научных изданиях и апробациям на научных конференциях в полной мере отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждении ученых степеней и соответствует специальности 1.2.3 – теоретическая информатика, кибернетика, а автор диссертации, М.С.А. Аботалев, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:



Ирина Александровна Лакман
« 29 » апреля 2025 г.

Кандидат техн. наук, доцент

Заведующий лабораторией исследования социально-экономических проблем регионов, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

Адрес организации: 450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 3/1

Телефон: + 7 (908) 350-23-48

Email: lackmania@mail.ru

Ирина Александровна Лакман
Водительская лицензия № 15

