

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Чирихина Константина Сергеевича** «Использование методов теории информации и искусственного интеллекта для разработки и исследования высокоточных методов прогнозирования временных рядов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

### 1. Актуальность темы исследований

Задачи выявления скрытых закономерностей в наблюдаемых временных рядах в целях дальнейшего использования этих закономерностей для прогнозирования возникают во многих областях. От качества решения этих задач, как правило, существенно зависит положительный эффект при управлении и сопровождении различных процессов. В связи с этим развитие методов и алгоритмов, способствующих обнаружению закономерностей и последующему использованию их для прогнозирования, представляется чрезвычайно актуальным. Именно эти цели преследуются в диссертации автора, где основное внимание уделяется разработке новых методов прогнозирования временных рядов со сложными, так называемыми скрытыми, закономерностями.

Содержание работы соответствует всем трём основным областям паспорта специальности 05.13.18, включая математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

### 2. Научная новизна исследований и полученных результатов

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми, опубликованы в 9 работах автора, включая 3 статьи в журналах из списка рекомендованного ВАК, 1 из которых проиндексирована в Scopus, а другая в WoS и Scopus, а также 6 публикаций в сборниках трудов конференций. Кроме этого зарегистрирован разработанный программный комплекс.

Диссертация объемом 107 страниц включает введение, 5 глав основного содержания, заключение, список использованных источников из 100 наименований, 2 приложения.

Во **введении** (6 стр.) обоснована актуальность исследований, степень разработанности, сформулированы цели исследований, подчеркивается новизна проведенных исследований, перечислены используемые методы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Приведено краткое содержание глав работы.

В **первой главе** (24 стр.) диссертации (п.1.1) приводится формулировка задачи прогнозирования, решению которой посвящена диссертация. Для построения прогнозов в работе предлагается находить оценку совместного условного распределения вероятностей для будущих значений временного ряда, а в качестве прогнозных значений использовать математические ожидания, вычисляемые по маргинальным распределениям для каждого шага. В п.1.2 приводится обзор используемых в настоящее время методов прогнозирования с краткой историей их развития. Подчеркивается, что в диссертации развивается

подход, основанный на теоретико-информационных методах, идея использования которых для прогнозирования временных рядов впервые предложена в работе Б.Я. Рябко. В п.1.3 подчеркивается, что рассматриваемая задача прогнозирования и задача сжатия математически очень похожи. Далее рассматривается подход к прогнозированию, основанный на использовании методов кодирования источника информации. Рассматривается прогнозирование целочисленных и вещественных временных рядов. Предлагаются (п.1.4) подходы к применению для прогнозирования некоторого набора методов сжатия и использования различного числа интервалов при квантовании. В п.1.5 показывается возможность использования идей, изложенных в п.1.3 и п.1.4, для прогнозирования многомерных временных рядов. В п.1.6 приводится обзор методов сжатия, с использованием формальных грамматик.

**Вторая глава** диссертации (11 стр.) посвящена методу прогнозирования временных рядов, опирающемуся на использование автомата с множественными головками. Приводится мотивация (п.2.1) и описание метода (п.2.2). Автор преобразует алгоритм работы автомата для прогнозирования полилинейных слов таким образом, чтобы автомат можно было рассматривать как метод сжатия данных. Это позволяет использовать его в наборе с другими методами сжатия. Благодаря такому подходу автор получает универсальный метод, способный как правильно прогнозировать полилинейные слова за счет использования автомата, так и правильно прогнозировать слова с «классическими» закономерностями за счет использования методов сжатия.

В **третьей главе** диссертации (7 стр.) предлагаются адаптивный метод прогнозирования (п.3.2) и метод преобразования алгоритмов прогнозирования к методам сжатия данных (п.3.3). Адаптивный метод основан на универсальных по времени кодах и призван сократить время вычислений при использовании некоторого набора методов сжатия для последующего прогнозирования. Это достигается за счет предварительной пробы всех используемых методов сжатия на небольшом фрагменте ряда и отбрасывания неперспективных методов. Для преобразования методов прогнозирования к методам сжатия используется подход, похожий на модификацию для автомата из главы 2. Дальнейшее объединение методов сжатия с другими методами прогнозирования повышает универсальность разрабатываемого подхода.

В **четвёртой главе** диссертации (24 стр.) приводятся результаты экспериментального исследования разработанных методов. Сначала описывается общий подход к проведению вычислений (п.4.1), затем приводятся примеры прогнозирования различных временных рядов. Первым рассматривается прогнозирование набора данных, представленного на международном конкурсе M3 Competition (п.4.2). Наилучшие результаты были получены при прогнозировании ежегодных данных. Затем рассматривается несколько временных рядов, связанных с природными явлениями – среднемесячные числа солнечных пятен, T-индекса и Kp-индекса (п.4.3). Отмечается, что для рядов среднемесячных чисел солнечных пятен и T-индекса средняя точность построенных прогнозов на один шаг на тестовом наборе данных оказалась выше, чем точность архивных прогнозов метеорологической службы. Для ряда Kp-индекса наилучшую точность продемонстрировал метод, изначально не основанный на сжатии – модель Хольта-Уинтерса, но при

совместном использовании этой модели с методами сжатия точность прогнозов повысилась. В п.4.4 рассматривается прогнозирование набора показателей Новосибирской области, причем часть прогнозов была получена с использованием многомерного прогнозирования. Построенные прогнозы выглядят достаточно интересными для практического применения. Для всех показателей приводятся несколько новых значений, неизвестных на момент построения прогнозов.

В **пятой главе** диссертации (17 стр.) приведено описание разработанного программного комплекса `itr` (information-theoretic predictor). Изложены требования (п.5.1), учитывавшиеся при разработке (расширяемость, кросс-платформенность, производительность и интегрируемость с существующими системами анализа данных). Приведено описание библиотеки `itr core` (п.5.2), представляющей собой основу комплекса. Приведено описание пакета `itr` (п.5.3), позволяющего работать с библиотекой `itr core` со стандартными средствами обработки и визуализации данных Python.

В **заключении** (2 стр.) кратко сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В **Приложении** (4 стр.) приведены 3 акта о внедрении результатов и Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные результаты диссертации опубликованы и представлены на ряде научных конференций и семинаров, в том числе международного уровня.

Диссертация написана четко и грамотно. Автореферат отражает основное содержание диссертации.

### **3. Обоснованность и достоверность полученных результатов**

Обоснованность и достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается строгостью использования математического аппарата и корректным применением методов теории вероятностей, математической статистики, теории информации и дискретной математики.

### **4. Научная и практическая ценность основных положений диссертации**

Научная ценность диссертации заключается в следующем.

Разработаны новые методы прогнозирования временных рядов. Построенный метод прогнозирования на основе многоголовочного автомата, по-видимому, является первым методом, способным прогнозировать временные ряды с закономерностями, описываемыми полилинейными словами. Предложен теоретико-информационный метод интеграции различных методов сжатия/прогнозирования, позволяющий автоматизировано выбирать наиболее подходящий для прогнозирования временного ряда метод.

Практическая ценность заключается в том, что разработанный программный комплекс позволяет использовать полученные в диссертации результаты различными организациями, занимающимися прогнозированием временных рядов.

## **5. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации**

Результаты диссертационной работы Чирихина К.С., методы и программное обеспечение, целесообразно рекомендовать для использования при прогнозировании физических и экономических процессов, наблюдаемых в виде временных рядов.

## **6. Замечания по диссертационной работе**

По содержанию диссертации Чирихина К.С. могут быть сделаны следующие замечания:

1. В формулах (1.6) и (1.7) предусмотрены весовые коэффициенты, однако в работе не исследуется влияние выбора их значений на точность прогнозов, а во всех случаях экспериментальных исследований используются равные веса. Отсутствуют какие-либо рекомендации по выбору весов.

2. В главе 4 не поясняется, по какому принципу выбиралось максимальное количество интервалов при квантовании.

3. В п.4.4 по тексту не ясно, на основании каких вероятностных законов вычислялись 95% доверительные интервалы, приводимые в таблицах.

4. В диссертации только модель Хольта-Уинтерса представляет собой метод прогнозирования, не основанный на сжатии данных. Было бы интересно исследовать поведение комбинированного метода с включением в него большего количества методов прогнозирования, не основанных на сжатии данных.

5. Хотя на страницах 5, 6 и 8 упоминается о методах искусственного интеллекта, применяемых в методах сжатия данных, ничего более конкретного об используемых методах искусственного интеллекта в диссертации не говорится.

6. По мнению оппонента, наличие выводов в конце глав, содержащих перечень полученных в них результатов автора, были бы для диссертации очень полезны.

7. Апробация разработанного аппарата при прогнозировании реальных временных рядов это, конечно, хорошо. Но для более тонких исследований свойств методов хотелось бы порекомендовать использование методов Монте-Карло.

8. Диссертация не свободна от опечаток, но их количество крайне незначительно.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и не влияют на положительную оценку результатов исследований.

## **7. Заключение о работе**

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит подходы к решению важной научной задачи, имеющей практическую значимость, и выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные

положения диссертационной работы достаточно полно освещены в научных публикациях автора. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Вышесказанное позволяет утверждать, что диссертационная работа Чирихина Константина Сергеевича соответствует требованиям пунктов 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры теоретической  
и прикладной информатики  
ФГБОУ ВО НГТУ, д.т.н., профессор

 Лемешко Борис Юрьевич

16.08.2022

Лемешко Борис Юрьевич доктор технических наук по специальности 05.13.16 – применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях, профессор по кафедре прикладной математики, профессор кафедры теоретической и прикладной информатики Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования Новосибирского государственного технического университета.

Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20.

Рабочий тел.: (8-383) 346-06-00.

Электронный адрес: lemeshko@ami.nstu.ru

Подпись д.т.н., профессора Б.Ю. Лемешко заверяю.

Начальник ОК НГТУ



Львова Ольга Константиновна