

**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор Федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования

«Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники»

д.т.н., доцент

Рулевский В.М.

«31» августа 2022 г.



**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертацию Чирихина Константина Сергеевича

«Использование методов теории информации и искусственного интеллекта  
для разработки и исследования высокоточных методов прогнозирования  
временных рядов»,

представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ»

**Актуальность темы диссертации.** В настоящее время построение прогнозов для временных рядов является широко распространённой задачей, с которой приходится сталкиваться как бизнесу, так и научным работникам. За десятилетия исследований в данной области было разработано много разнообразных методов прогнозирования, однако окончательного решения задачи нет, так как трудно удовлетворять одновременно всем требованиям, предъявляемым к методам прогнозирования и поэтому область продолжает активно развиваться. Например, помимо естественного пожелания обеспечения высокой точности прогнозов на как можно более широком классе временных рядов желательно, чтобы метод прогнозирования обладал невысокой вычислительной сложностью, был достаточно прост для его использования и



понимания пользователями, не обладающими экспертными знаниями. Кроме того, эффективность различных методов меняется при краткосрочном и долгосрочном прогнозировании, а также в зависимости от доступной длины временного ряда. Существуют методы, обладающие доказанными свойствами в случае, если случайный процесс, породивший временной ряд, удовлетворяет определенным требованиям. Зачастую такими требованиями являются стационарность и эргодичность случайного процесса, реализацией которого является рассматриваемый временной ряд, что, конечно же, далеко не всегда выполняется на практике. Поскольку практическая ценность точных прогнозов, без сомнений, крайне высока и однозначно лучшего метода по всем критериям (или даже по одному критерию «точность») не существует, то исследования в области разработки новых методов прогнозирования временных рядов продолжают быть актуальными.

Как следует из названия диссертационной работы Константина Чирихина, новые методы прогнозирования в ней разрабатываются с использованием методов теории информации и искусственного интеллекта. Теоретико-информационный подход к прогнозированию временных рядов, несомненно, представляет интерес, поскольку, во-первых, существует метод прогнозирования на основе универсального кодирования, для которого доказана асимптотическая оптимальность для временных рядов, являющихся реализациями стационарных и эргодических случайных процессов (который и развивается в представленной диссертационной работе), а во-вторых, за многие годы разработки методов сжатия были предложены многочисленные способы оптимизации степени сжатия реальных данных, в том числе достаточно коротких, и эти результаты могут быть применены для области прогнозирования. В целом, области теории информации и математической статистики тесно связаны и есть многочисленные примеры применения результатов из одной области в другой и наоборот.

Методы искусственного интеллекта в целом в последние годы переживают бурный рост. В области методов прогнозирования временных



рядов всё чаще используются методы машинного обучения и нейронные сети. Как показывают экспериментальные исследования, в последние годы такие методы стали зачастую получать результаты, превосходящие по точности классические статистические методы. Эта область сейчас является очень динамичной и интересной для исследований.

В связи с вышеизложенным тема диссертационного исследования Константина Чирихина, без сомнений, является актуальной. Оба рассматриваемых подхода к прогнозированию — теоретико-информационный и основанный на методах искусственного интеллекта — являются перспективными. В работе Константина используется комбинация этих подходов, что является её сильной стороной, поскольку к настоящему времени опытным путём было показано, что комбинирование методов прогнозирования позволяет повысить точность прогнозов.

**Структура и основное содержание диссертации.** Представленная диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Полный объём диссертации составляет 107 страниц. Список литературы содержит 100 наименований.

Во *введении* обосновывается актуальность выбранной темы исследования, приводятся объект и предмет исследования, формулируются цель работы, задачи и научная новизна исследования. Также излагается теоретическая и практическая значимость работы, описываются методы исследования, а также основные положения, выносимые на защиту, и соответствие паспорту специальности. Затем приводится информация о публикациях и краткое содержание глав диссертационной работы.

*Первая глава* диссертации посвящена применению методов сжатия данных для прогнозирования временных рядов. В ней приводится постановка рассматриваемой задачи прогнозирования, обзор популярных на сегодняшний день методов прогнозирования временных рядов, а также начальные сведения о прогнозировании с помощью методов сжатия. Далее здесь предлагается способ построения метода прогнозирования на базе комбинации нескольких



неискажающих кодов, а также описываются подходы к прогнозированию вещественных и многомерных данных. Заканчивается данная глава обзором методов сжатия, основанных на формальных грамматиках.

*Вторая глава* диссертации содержит описание метода прогнозирования временных рядов, в основе которого лежит алгоритм прогнозирования полилинейных слов для многоголовочных автоматов. Важным является то, что известные методы прогнозирования временных рядов правильно прогнозировать закономерности такого вида не могут. В диссертационной работе указанный алгоритм изменяется с целью получения с помощью него оценок длин кодовых слов для конечных последовательностей букв из конечных алфавитов и затем комбинируется с методами сжатия. В результате получается метод, способный находить все закономерности, обнаруживаемые включаемыми в комбинацию методами сжатия, а также закономерности, которые могут быть описаны полилинейными словами.

*Третья глава* вновь посвящена комбинированию различных методов сжатия для целей прогнозирования. В ней предлагается подход к сокращению времени вычислений при объединении методов сжатия, названный адаптивным методом. Он основан на универсальном по времени кодировании, при котором все доступные методы сжатия пробуются на небольшом участке сжимаемых данных с целью поиска лучшего метода (для этого участка), и затем данные целиком сжимаются только выбранным методом. Такой подход обеспечивает субоптимальное сжатие и при этом отношение дополнительного времени к суммарному времени вычислений может быть ограничено произвольной константой. Кроме того, в главе предлагается подход, позволяющий рассматривать произвольные методы прогнозирования временных рядов как методы сжатия. Это делает возможным комбинирование таких методов с методами сжатия и синтаксического анализа, при этом может быть использован адаптивный метод.

В *четвёртой главе* проводится экспериментальное исследование предложенных методов. Для проведения вычислений были выбраны следующие



временные ряды: 3003 временных ряда из M3 Competition, относящихся к областям экономики и бизнеса, временной ряд среднемесячных чисел солнечных пятен, временной ряд Т-индекса (который тесно связан с солнечными пятнами), временной ряд Кр-индекса (характеристика интенсивности геомагнитных бурь), набор социально-экономических показателей Новосибирской области. В главе подробно излагается методология вычислений и используемые предварительные преобразования данных. Производится сравнение точности построенных в данной главе прогнозов с другими известными прогнозами, полученными независимо (при их наличии). Для показателей Новосибирской области приводятся их зафиксированные значения, неизвестные на момент вычислений. Результаты вычислений показывают, что разработанные методы обладают хорошей точностью и могут применяться на практике.

В пятой главе содержится описание разработанной программы для ЭВМ. Приведено описание архитектуры и функциональных возможностей приложения, а также программных интерфейсов, позволяющих расширять программный комплекс и встраивать его в другие программные системы.

В приложениях приведены справки об использовании результатов работы в трёх организациях и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

**Теоретическая ценность** диссертации заключается в разработке нового метода комбинирования методов сжатия и прогнозирования. Это позволяет получить метод, способный показывать хорошую точность на различных данных. Также теоретической ценностью обладает предложенный Константином метод прогнозирования временных рядов, основанный на применении многоголовочного автомата, поскольку этот метод позволяет правильно прогнозировать временные ряды, описываемые полилинейными словами, чего не могут другие методы.

**Практическая ценность** работы заключается в возможности применения разработанных методов для прогнозирования временных рядов, встречающихся на практике. В диссертационной работе на наборе физических и социально-



экономических временных рядов показано, что предложенные методы обладают высокой точностью.

**Научная новизна** представленной работы заключается в том, что:

1. Впервые построены методы прогнозирования, способные для повышения точности прогнозов находить в данных сложные закономерности за счёт использования многоголовочных автоматов и контекстно-свободных грамматик.
2. Впервые предложен и реализован теоретико-информационный метод объединения различных методов сжатия и прогнозирования, позволяющий получить один более универсальный метод.
3. Получены новые методы прогнозирования временных рядов, представляющие практический интерес.

**Достоверность и обоснованность результатов диссертации.**

Достоверность полученных автором результатов обеспечивается использованием алгоритмов и методов с доказанными асимптотическими свойствами, проведением большого количества экспериментальных вычислений и согласованностью их результатов, а также внедрением.

**Основные результаты диссертации** опубликованы в 9 печатных изданиях: 1 статья в журнале, индексируемом в WoS и Scopus, 1 статья в журнале, индексируемом в Scopus и входящим в перечень ВАК, 1 статья в журнале из перечня ВАК и 6 публикаций, включённых в сборники трудов конференций. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Имеются справки об использовании результатов диссертации в трёх организациях.

**Замечания по диссертации.**

1. Для улучшения восприятия текста диссертации было бы полезным добавить в конец каждой главы раздел с выводами.



2. В обзоре по методам анализа временных рядов совсем мало упоминаются работы отечественных авторов, например, нет ссылок на работы Лоскутова А.Ю., Ильина И.А. и др.
3. В параграфе 4.3 адаптивный метод применяется для прогнозирования временного ряда среднемесячных чисел солнечных пятен и при этом в исследовательских целях варьируется от 10% до 100% значений ряда для выбора лучшего метода прогнозирования. При этом остаётся непонятным, какую долю (или количество) значений временных рядов использовать в реальных вычислениях.
4. Автор не приводит объяснения причин того, что часть прогнозных социально-экономических показателей имеет заметные отклонения от фактических данных. При этом другая часть показателей прогнозируется с приемлемой точностью.
5. Для выяснения степени достоверности и оценки прогнозных свойств предлагаемых автором алгоритмов желательно провести сравнение, например, с численными результатами, полученными с помощью нейросетевого анализа.
6. Для анализа временных рядов имеется большое число пакетов прикладных программ, однако автором не проведено сравнение полученного программного обеспечения с уже имеющимися.

Указанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы, которая выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем квалификационным требованиям.

**Заключение.** Диссертация Чирихина Константина Сергеевича «Использование методов теории информации и искусственного интеллекта для разработки и исследования высокоточных методов прогнозирования временных рядов» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, в которой получены важные теоретические и практические результаты. Приведённые в диссертации выводы и рекомендации

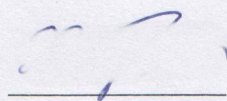


достаточно обоснованы, автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание и суть исследования. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях и обсуждались на всероссийских и международных конференциях. Работа соответствует паспорту заявленной специальности, требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Чирихин Константин Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв ведущей организации принят по результатам обсуждения диссертации на научном семинаре кафедры технологий электронного обучения Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, протокол №13 от 31 августа 2022 г. В работе семинара приняли участие 12 человек, из которых 3 доктора наук, 5 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» – 12, «против» – 0, воздержавшихся нет.

Отзыв подготовил доктор технических наук, доцент Кручинин Владимир Викторович, заведующий кафедрой технологий электронного обучения Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

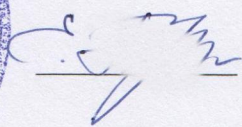
Заведующий кафедрой  
технологий электронного  
обучения, д.т.н., доцент



✓ Кручинин  
Владимир Викторович

(тел. (3822) 70-15-52, адрес 634045, г. Томск, ул. Красноармейская, 146; e-mail: [kru@2i.tusur.ru](mailto:kru@2i.tusur.ru))

Подпись В. В. Кручинина заверяю  
Ученый секретарь ученого Совета ТУСУР



Е. В. Прокопчук

31.08.2022



### **Сведения о ведущей организации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, (3822) 51-05-30; office@tusur.ru