

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.10,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 мая 2025 г. № 1

О присуждении Аботалёб Мостафа Салахелдин Абделсалам, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Алгоритмы прогнозирования временных рядов на основе взвешенного метода наименьших модулей» по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика принята к защите 12 февраля 2025 г. (протокол заседания № 1) диссертационным советом 24.2.437.10, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, приказ от 12 октября 2022 г. № 1170/нк.

Соискатель Аботалёб Мостафа Салахелдин Абделсалам, 20 января 1991 года рождения. В период с 2024 г. по настоящее время обучается в очной аспирантуре ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» по научной специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

Соискатель работает преподавателем кафедры системного программирования в ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре системного программирования ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Макаровских Татьяна Анатольевна, профессор кафедры системного программирования ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Официальные оппоненты:

- Ерохин Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник отдела 51 Военного института (научно-исследовательского) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации (г. Санкт-Петербург);
- Лакман Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией исследования социально-экономических проблем регионов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (г. Уфа),

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск), в своем положительном отзыве, подписанном Каргаполовой Ниной Александровной, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником, заведующим лабораторией стохастических задач, Огородниковым Василием Александровичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лаборатории стохастических задач, и утвержденном Марченко Михаилом Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором РАН, директором, указала, что диссертационная работа М.С.А. Аботалев является

самостоятельно завершенной научно-исследовательской работой, выполненной автором на высоком научно-технологическом уровне. В рамках исследования М.С.А. Аботалёб предложил новый алгоритм прогнозирования временных рядов и разработал комплекс программ, позволяющий выбрать оптимальный метод анализа и прогнозирования рядов в зависимости от типа данных и их объема, который имеет существенное значение при решении прикладных задач, связанных с обработкой и анализом временных рядов. Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры и подробные расчеты. В автореферате представлены основные этапы работы, выводы и результаты. Автореферат диссертации отражает основное содержание диссертации. Диссертация в полной мере соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, включая п. 9, а ее автор, Мостафа Салахелдин Абделсалам Аботалёб, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 – теоретическая информатика, кибернетика.

Соискатель имеет 119 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы, в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science, опубликовано 4 работы, включая 5 свидетельств Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Все научные результаты, выносимые на защиту, получены соискателем лично.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Макаровских, Т.А. Автоматический подбор параметров модели ARIMA для прогноза количества случаев заражения и смерти от Covid-19 /

- Т.А. Макаровских, М.С.А. Аботалев // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2021. – Т. 10, № 2. – С. 20–37. DOI: 10.14529/cmse210202. (Перечень ВАК К2, RSCI) (18 с./15 с.)
2. Аботалев, М.С.А. Возможности параллелизма при идентификации квазилинейного рекуррентного уравнения / М.С.А. Аботалев, Т.А. Макаровских, А.В. Панюков // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2023. – Т. 12, № 4. – С. 94–109. DOI: 10.14529/cmse230404. (Перечень ВАК К2, RSCI) (16 с./12 с.)
 3. Аботалев, М.С.А. Установление значимости коэффициентов квазилинейного уравнения N-факторной авторегрессии // Проблемы информатики. – 2024. – № 3. – С. 5–28. DOI: 10.24412/2073-0667-2024-3-5-28. (Перечень ВАК К2)
 4. Abotaleb, M. Solving The Optimizing Parameters Problem For Non-linear Datasets Using The High-Order General Least Deviations Method (GLDM) Algorithm // Computational Methods for Differential Equations. – 2024. DOI: 10.22034/cmde.2024.62441.2751. (Web of Science Q2, Scopus Q1)
 5. Abotaleb, M. Soft Computing-Based Generalized Least Deviation Method Algorithm for Modeling and Forecasting COVID-19 using Quasilinear Recurrence Equations // Iraqi Journal For Computer Science and Mathematics. – 2024. – Vol. 5, No. 3. – P. 441–472. DOI: 10.52866/ijcsm.2024.05.03.028. (Scopus Q2)
 6. Abotaleb, M. Advanced milk production modelling using high-order generalized least deviation method / M. Abotaleb, T. Makarovskikh // Modeling Earth Systems and Environment. – 2024. – Vol. 10. – P. 7019–7047. DOI: 10.1007/s40808-024-02142-9. (Web of Science Q3, Scopus Q1) (29 с./22 с.)
 7. Abotaleb, M. Proving Optimal Model Selection and Zero Coefficient Cases in Time Series Forecasting with the Generalized Least Deviation Algorithm //

Свидетельства о регистрации программ

8. Аботалёб, М.С.А. Параллельная программа для идентификации параметров квазилинейных рекуррентных соотношений для массива временных рядов / М.С.А. Аботалёб, Т.А. Макаровских // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661570 от 01.06.2023.
9. Аботалёб, М.С.А. Библиотека для квазилинейного анализа временных рядов / М.С.А. Аботалёб, Т.А. Макаровских // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022669812 от 25.10.2022.
10. Макаровских, Т.А. Система прогнозирования для одномерных временных рядов / Т.А. Макаровских, М.С.А. Аботалёб // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660664 от 08.06.2022.
11. Макаровских, Т.А. Библиотека epidemic.ta для прогнозирования случаев заражения Covid-19 / Т.А. Макаровских, М.С.А. Аботалёб // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616747 от 26.04.2021.
12. Аботалёб, М.С.А. Univariate time series software Version 1 (Программное обеспечение для одномерных временных рядов Версия 1) / М.С.А. Аботалёб, Т.А. Макаровских // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024682644 от 25.09.2024.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы:

1. Ведущая организация, ФГБУН Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск. Замечания:

- 1) Рассмотрим формулировку утверждения 4 на стр. 92: «Пусть $\{Y_t\}_{t=1}^T$ – временной ряд, смоделированный с помощью квазилинейной регрессии с параметрами $a \in R^n$. Пусть алгоритм итеративной оптимизации обновляет параметры с a до a' на каждой итерации таким образом, что $\|a' - a\| \leq \epsilon$, где ϵ – это малый положительный скаляр. Эти обновления предназначены для обеспечения сходимости оценок параметров, согласованности параметров модели от $T \rightarrow \infty$ и устойчивости выходных прогнозов на каждой итерации». Где в этой формулировке утвердительная часть? Скорее всего, соискатель имел в виду, что если $\|a' - a\| \leq \epsilon$, то оценки параметров сходятся, параметры модели согласованы при $T \rightarrow \infty$ и выходные прогнозы на каждой итерации устойчивы. Кроме того, вместо доказательства этого утверждения размещены лишь комментарии, касающиеся этого доказательства. Так, например, в комментариях написано «В доказательстве описываются условия...», «В этой части доказательства рассматриваются условия, при которых модель устойчива». Где это доказательство и каковы условия?
- 2) В п. 2.3 приведено описание алгоритма PredictorEstimator, однако в экспериментальной части работы отсутствует пример его применения.
- 3) Хотелось бы, чтобы у диссертации было указано, какой датчик псевдослучайных чисел использован при создании представленного в работе программного комплекса. Качество датчика (а именно, величина его периода) могут оказать существенное влияние при работе ряда запрограммированных методов в условиях большого объема данных.
- 4) Присутствует погрешность в доказательстве теоремы 4 на стр. 91. После слов «Для этого используем разложение Тейлора до второго порядка:» приведена не формула Тейлора, а лишь значение второй производной функции потерь.

- 5) В п. 4.1.1 речь идет о нормализованном разностном индексе растительности и приведено его определение. При этом, отсутствуют ссылки на литературу, где дано это определение.
- 6) В диссертации использована странная система ссылок на формулы, которые до этого не появлялись. Так, например, на стр. 73 при выводе формулы 2.16 используются формулы 2.17 и 2.18, которые появляются много позднее (на стр. 77). Во введении, на стр. 25, фигурируют величины x_t и функция $f(a, x_t)$, которые определяются только через несколько десятков страниц.
- 7) В тексте есть ряд предложений, неграмотное (с точки зрения русского языка) написание которых затрудняет понимание материала. Так, например, на стр. 103 написано следующее: *«Вычислительный эксперимент показал, что задание веса, равного 0.9, для лучшей модели временного ряда и нейронных сетей и равномерное распределение (0.0–0.9) по остальным моделям позволяет получить точные результаты с меньшими значениями ошибок»*. Что значит «точные результаты с меньшими значениями ошибок»? Если результаты точные, то ошибок быть не должно, а если ошибки присутствуют, то результаты приближенные.
- 8) В диссертации присутствует значительное количество опечаток (например, ссылка на формулы вида «(2.2)-» на стр. 70, «квазидинейного» на стр. 96, «можуль» на стр. 97) и небрежностей в оформлении. К примеру:
- подпись к рис. 3.2 на стр. 99 частично сделана на русском языке, частично – на английском;
 - на стр. 123 один раз аббревиатура NDVI расшифрована как «нормализованный разностный индекс растительности», а другой – как «нормированный разностный вегетационный индекс»;
 - на стр. 138 часть текста выделена курсивом.

2. Официальный оппонент Ерохин В.И., доктор физ.-мат. наук, профессор, старший научный сотрудник отдела 51 Военного института (научно-исследовательского) ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург. Замечания:

- 1) Список используемых в диссертации источников мог бы быть более полным, что, прежде всего, относится к работам российских ученых. Это, в первую очередь, касается публикаций профессора А.Н. Тырсина и его учеников. Особо отметим работу «А.Н. Тырсин. Робастное построение регрессионных зависимостей на основе обобщенного метода наименьших модулей // Зап. науч. сем. ПОМИ, 2005, Т. 328, С. 236-250» как основополагающую работу по обобщенному методу наименьших модулей. Полнее могли бы быть представлены публикации профессора Панюкова А.В. и его ученика Мезала Я.А., исследования которых, во многом, являются прообразом исследования, выполненного соискателем.
- 2) Описание алгоритма «DualWLDMSolver» (стр. 71) сопровождается комментарием (стр. 72) «Вычислительная сложность такого алгоритма не превышает $O(T^2)$ из-за простой структуры допустимого множества: пересечение T -мерного кубоида (2.10) и $(T-n(m))$ -мерное линейное подпространство (2.9)» (орфография – автора диссертации). Указанное утверждение не сопровождается какими-либо теоретическими выкладками, доказательствами или литературными ссылками и поэтому не является обоснованным. Утверждение о «простой структуре» указанного множества является неверным – множество является ограниченным (возможно – пустым) многогранником, а получение содержательной информации о его «структуре» является задачей, сопоставимой по сложности с задачей поиска решения системы линейных неравенств общего вида. В связи с указанным замечанием можно указать работу «Евтушенко Ю.Г., Третьяков А.А.

Локально полиномиальный метод решения систем линейных неравенств // Ж. вычисл.матем. и матем. физ., 2020, Т. 60, № 2, С. 216-220», в которой рассматривается алгоритм, близкий к используемому в диссертации методу проекций градиента, для которого удастся доказать лишь «локально-полиномиальную» оценку сложности в условиях, когда «начальная точка принадлежит достаточно малой окрестности некоторой точки решения». Заметим также, что конечный алгоритм решения системы неравенств полиномиальной вычислительной сложности пока не найден, а сама задача включена в так называемый «список Смейла: Smale S. Mathematical problems for the next century, Mathematics: Frontiers and perspectives, 271–294 // American Mathematical Society, Providence, RI. 2000» как одна из важнейших современных нерешенных математических проблем.

- 3) Теорема 1 (стр. 72) позиционируется соискателем как обоснование метода WLDM. Это следует и из текста диссертации, предшествующему теореме (стр. 69-72), в котором исходная (для метода WLDM) задача кусочно-линейного программирования последовательно сводится к задаче линейного программирования (ЛП) общего вида (не «канонического», как называет его соискатель), а, затем, к соответствующей двойственной задаче ЛП. Поэтому доказываемое утверждение теоремы 1, которое (без использования формул и ссылок) можно сформулировать как утверждение о корректности конструктивных формул построения решения задачи WLDM по решению полученной двойственной задачи ЛП, представляется уместным. Однако доказываемое утверждение и текст доказательства не соответствуют друг другу – в тексте доказательства рассматривается последовательность задач метода WLDM с изменяющимися весами, которая составляет основу уже другого метода – GLDM, рассматриваемого в диссертации далее (стр. 76-79). Фактически, в качестве доказательства теоремы 1 приведен фрагмент доказательства другой теоремы – теоремы 2 (стр. 77).

- 4) В доказательстве теоремы 2 (о сходимости решений последовательности вспомогательных задач WLDM к глобальному решению задачи GLDM) на стр. 78 требует пояснений тождество:

$$\arctan|\tilde{z}_t| - \arctan|z_t^*| = \frac{|\tilde{z}_t| - |z_t^*|}{1 + |\tilde{z}_t| \cdot |z_t^*|}, \quad t = 1, 2, \dots, T.$$

В связи с этим ход дальнейшего доказательства вызывает вопросы. В итоге, сходимость алгоритма именно к глобальному минимуму многоэкстремальной задачи математического программирования GLDM с невыпуклой целевой функцией нельзя считать строго обоснованной.

- 5) Представленные в рецензируемой диссертации методы и алгоритмы следовало бы проверить не только на задачах с реальными данными, но и на модельных задачах с известными «точными» данными и контролируемыми «погрешностями» (выбросами). Хотя подобная проверка недостаточна для убедительного обоснования правильности методов и алгоритмов, она способна выявить возможные методологические ошибки (при их наличии) более четко и выпукло, чем расчеты на реальных данных, в которых «истинные» форма (вид), порядок и значения коэффициентов соответствующего квазилинейного разностного уравнения неизвестны.

3. Официальный оппонент Лакман И.А., кандидат техн. наук, доцент, заведующий лабораторией исследования социально-экономических проблем регионов ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа. Замечания:

- 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 привести на слепой валидационной выборке, а не только на ретроспективных данных.
4. Зыкина А.В., доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика и фундаментальная информатика» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск. Замечание: По диссертационной работе М.С.А. Аботалеба имеются замечания стилистического характера. Так в теореме 3 вместо фразы «может быть обнулен» следовало написать «является не значимым для функции потерь».
5. Китаева А.В., доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры программной инженерии Института прикладной математики и компьютерных наук ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск. Замечания:
 - 1) На стр. 4 трактовка «черного лебедя» как «события с нулевыми дисперсией и математическим ожиданием» необычна и требует пояснения.
 - 2) На стр. 10 при описании модели (1) вместо «функции n заданы» следует писать «функции $g_j(\cdot)$ заданы», далее на стр. 10, при описании GLDM-оценивания, допущены повторы, последний абзац может быть опущен.
6. Филиппова А.С., доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий Института физики, математики, цифровых и нанотехнологий ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», г. Уфа. Замечания:
 - 1) В автореферате описываются наборы данных для вычислительных экспериментов и характеризуются их результаты, однако не

приведены графики и числовые характеристики, полученные в результате экспериментов.

2) Имеются стилистические неточности и опечатки.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью их научных достижений в областях анализа данных и искусственного интеллекта, методов оптимизации, направленных на решение различных задач, связанных с анализом временных рядов. В ведущей организации действуют лаборатории искусственного интеллекта и информационных технологий; системного моделирования и оптимизации; стохастических задач; суперкомпьютерного моделирования.

Диссертационный совет отмечает, что **на основании выполненных соискателем исследований:**

- **предложен** метод обобщенных наименьших отклонений (GLDM) для анализа моделей нелинейной динамики при прогнозировании развивающихся процессов. Он использует функцию арктангенса для сглаживания влияния выбросов и шумов, а также осуществляет оптимизацию коэффициентов модели с учетом ее порядка, определяемого предыдущими наблюдениями. Полученные параметры минимизируют сумму абсолютных отклонений и обеспечивают точную адаптацию к структуре одномерного временного ряда. GLDM сохраняет стабильность прогнозов на ограниченных объемах выборки без риска переобучения и без значительных вычислительных затрат. GLDM демонстрирует высокую интерпретируемость параметров и прозрачность результатов, что делает его надежным инструментом для прогнозирования одномерных временных рядов при дефиците наблюдений;
- **разработана** система прогнозирования временных рядов с возможностью подключения дополнительных модулей, которая дает возможность вывода значений погрешностей прогнозирования для дальнейшего выбора экспертом лучшей модели для использования;

- **сформулированы и доказаны** утверждение о критериях минимизации прогностической ошибки при подборе порядка GLDM-модели, что сокращает объем избыточных вычислений и ускоряет процедуру оптимизации; теорема о выборе оптимального порядка модели на основе минимизации функции потерь, гарантирующая минимальный прогнозный MAPE; теорема значимости коэффициентов GLDM-модели, позволяющая автоматически исключать несущественные параметры без снижения точности прогноза.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **раскрыта** задача разработки эффективных методов и алгоритмов для построения детерминированных моделей для анализа и прогнозирования динамики развивающихся процессов;
- **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы регрессионного анализа динамики наблюдаемых процессов, статистические методы, методы построения нейронных сетей и глубокого обучения, линейного программирования;
- **изучены** существующие современные методы и алгоритмы анализа одномерных временных рядов;
- **изложены** подходы к прогнозированию временных рядов: представлены классификация и обзор основных методов;
- **разработан** алгоритм GLDM-оценки, который позволяет получить коэффициенты квазилинейного рекуррентного соотношения, с помощью которых можно не только воссоздать заданный значениями временного ряда динамический процесс, но и построить достоверный прогноз;
- **теоретически обоснована корректность** предложенных алгоритмов, которые позволяют получать коэффициенты модели с учетом нелинейности;
- **приведены** условия наличия нулевых коэффициентов модели, сформулированы условия, при которых ряд коэффициентов модели может быть обнулен;

- **описаны** критерии выбора оптимального порядка GLDM-модели на основе минимизации прогностической ошибки и предотвращения переобучения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработан** новый метод определения коэффициентов разностного квазилинейного уравнения по заданному временному ряду (по наблюдаемым отсчетам) для прогнозирования развивающихся процессов, основанный на методе наименьших модулей, который позволяет эффективно минимизировать значение функции потерь;
- **спроектирован и реализован** подход к выявлению закономерностей в данных и прогнозирования одномерного временного ряда, позволяющий получить результаты построения прогноза с использованием статистических, нейросетевых и квазилинейных моделей, проанализировать погрешности прогнозирования и выбрать лучшую модель для работы с конкретными исходными данными;
- **разработана** система прогнозирования, которая получает в качестве входных данных временной ряд и позволяет подобрать наиболее подходящую модель для прогнозирования новых значений этого ряда;
- **разработаны и опубликованы в сети Интернет в репозитории GitVerse для свободного использования** исходные тексты программ, реализующие предложенные в диссертации разработки;
- **определена** эффективность разработанных алгоритмов и методов в сравнении с известными аналогами путем проведения вычислительных экспериментов на реальных временных рядах, подтвердившие практическую ценность выполненных разработок.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- **идея базируется** на исследованиях, посвященных методам решения квазилинейных разностных уравнений;

- **теория** построена на известных методах анализа временных рядов, прогнозирования и методах оптимизации;
- **результаты экспериментов получены** на платформе современных высокопроизводительных вычислительных систем;
- **эффективность разработанных алгоритмов и методов подтверждена** результатами вычислительных экспериментов, проведенных на реальных данных;
- **использованы** современные методики проведения экспериментов и анализа их результатов, гарантирующие воспроизводимость экспериментальных результатов;
- **установлено** количественное и качественное соответствие результатов проведенных вычислительных экспериментов. В соответствии с известными метриками получены оценки точности полученных прогнозных значений.

Личный вклад соискателя состоит в том, что:

- **соискателем единолично разработаны** алгоритмы на основе метода обобщенных наименьших отклонений, сформулированы и доказаны критерии выбора оптимального порядка модели, условия наличия нулевых коэффициентов модели; разработана расширяемая система прогнозирования, позволяющая проводить анализ точности работы предложенных моделей;
- в публикациях, выполненных в соавторстве с научным руководителем, научному руководителю принадлежит постановка задачи, **соискателю принадлежат все полученные результаты**; в публикации, выполненной в соавторстве с Макаровских Т.А. и Панюковым А.В. Макаровских Т.А. принадлежит постановка задачи, Панюкову А.В. – обзор полученных ранее результатов, соискателю – все основные научные результаты.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие **критические замечания и заданы вопросы**: 1) Известно, что преобразование Жордана–

Гаусса вычислительно неустойчиво. Возникает ли в Вашем исследовании данная проблема и как она решается? 2) Метод обобщенных наименьших модулей стандартен, в чем заключается новизна Вашей работы? 3) Есть ли данные компьютерной симуляции, которые сравнивают стандартный метод с Вашим? 4) Что из себя представляют коллекции данных, используемые в экспериментах? 5) Поясните, почему GLDM-модель порядка 3 хуже GLDM-модели порядка 2? 6) Какой метод используется для решения задачи линейного программирования? 7) Какие критерии отбора лучшей модели есть в разработанной Вами системе? 8) На сколько шагов вперед строится прогноз? 9) На каких временных рядах Ваше решение дает наилучший результат и для каких прикладных задач? 10) На каких параллельных вычислительных системах были проведены эксперименты? 11) Сколько времени потребуется для пересчета коэффициентов модели GLDM? 12) На слайдах 4 и 5 приводится сравнение полученных результатов с другими работами, среди которых отсутствуют зарубежные. Существуют ли аналоги в зарубежных публикациях?

Соискатель Аботалев М.С.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: 1) Потенциальная вычислительная неустойчивость преобразования Жордана–Гаусса устраняется благодаря особенностям разработанного алгоритма GLDM. Вместо прямого обращения матриц применяется итеративная процедура с пересчетом весов, а вычисления выполняются в рамках задач линейного программирования. Дополнительно используются методы регуляризации и масштабирования. 2) Новизна работы заключается в разработке модифицированного алгоритма GLDM, в котором в качестве функции потерь используется арктангенс, повышающий устойчивость к выбросам, и реализован итеративный алгоритм с пересчетом весов и автоматическим выбором порядка модели. 3) В диссертации представлены вычислительные эксперименты по сравнению предложенного алгоритма GLDM со стандартным методом WLDM, которые показали, что GLDM обеспечивает более точные прогнозы благодаря устойчивости к выбросам и эффективному выбору порядка модели. При увеличении порядка

модели GLDM автоматически обнуляются незначимые коэффициенты, чего не обеспечивает WLDM. 4) В экспериментах использовались реальные временные ряды, исследуемые в прикладных задачах из различных областей. Эти данные различаются по объему, структуре и уровню шума, что позволило протестировать GLDM в условиях, приближенных к практическому использованию. 5) GLDM-модель порядка 3 показала худшие результаты по сравнению с моделью порядка 2, поскольку у данной модели и моделей более высоких порядков наблюдался эффект переобучения. 6) Для решения задачи линейного программирования применяется специализированный итеративный алгоритм, реализующий двойственную и прямую формы метода обобщенных наименьших модулей WLDM. 7) В разработанной системе выбор лучшей модели осуществляется на основе совокупности количественных критериев: минимизации суммы абсолютных отклонений и вычислении метрик точности прогноза (MAPE, MAE, RMSE и R^2). 8) Прогноз строился на один год вперед для исследуемых временных рядов. 9) Разработанный алгоритм GLDM продемонстрировал наибольшую точность при малом объеме данных, а также при прогнозировании рядов, где ярко выражена нелинейность и имеются выбросы и шум (данные по урожайности, скорости ветра и COVID-19). 10) Эксперименты проводились на двух вычислительных платформах: на персональном ноутбуке и суперкомпьютере «Торнадо-ЮУрГУ». 11) Время пересчета коэффициентов в разработанной системе GLDM зависит от объема данных и порядка модели. При обработке временного ряда COVID-19 пересчет коэффициентов занимал от 3 сек. до 12 сек. для моделей первого и третьего порядков соответственно. Для более длинного ряда скорости ветра расчет был выполнен на суперкомпьютере ЮУрГУ и занял от 1 ч. до 2 ч. 30 мин. для моделей первого и второго порядков соответственно. 12) Аналогичные исследования в зарубежных публикациях существуют, но они, как правило, не учитывают специфику квазилинейных рекуррентных уравнений и не ориентированы на оптимизацию структуры модели в контексте прогнозирования одномерных временных рядов.

На заседании 21 мая 2025 г. диссертационный совет принял решение за разработку новых методов и алгоритмов определения коэффициентов квазилинейного рекуррентного соотношения, имеющей существенное значение для решения задач интеллектуального анализа временных рядов, для моделирования динамических процессов различных прикладных областей знаний, присудить Аботалев М.С.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 4 доктора наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» – 13, «против» – 0.

Председатель

диссертационного совета



Соколинский Леонид Борисович

Ученый секретарь

диссертационного совета



Краева Яна Александровна

21 мая 2025 г.

