

«УТВЕРЖДАЮ»



А.О. Кучерик  
25.10.2024

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет

имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

на диссертационную работу Макарова Ивана Сергеевича на тему

**«Разработка методов прогнозирования точек разворота на многомерных временных рядах финансовых рынков на основе моделей машинного обучения с подкреплением»,**

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

1.2.1 - «Искусственный интеллект и машинное обучение»

### *Актуальность темы диссертации*

Актуальность темы автоматизации торговли обусловлена её растущей популярностью среди компаний и частных лиц, поскольку она позволяет снизить затраты на ручной труд и повысить общую эффективность. Это особенно важно для крупных организаций, где экономия времени и ресурсов имеет критическое значение. С увеличением числа транзакций и объема данных, которые сложно обрабатывать вручную, возникает необходимость в разработке алгоритмов и моделей, способных быстро анализировать большие массивы информации. Машинное обучение предоставляет решения для этих задач, обеспечивая точность и обоснованность принимаемых решений, что является крайне важным в финансовом секторе. Современные модели способны работать с различными типами данных, включая текстовые и временные ряды, что открывает новые возможности для комплексного анализа рынков. Интеграция таких моделей в единый торговый модуль позволяет более точно прогнозировать изменения на рынке, принимая во внимание множество факторов.

Диссертация Макарова И.С. посвящена исследованию и разработке методов и алгоритмов решения задач прогнозирования точек разворота на многомерных временных рядах финансовых рынков на основе моделей машинного обучения с подкреплением. В качестве результата данной работы предлагается обученная и протестированная модель, являющаяся ядром полнофункциональной автоматизированной торговой системы.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и библиографии. Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи, отражена практическая значимость полученных результатов, аргументирована научная новизна, представлены выносимые на защиту научные положения, дана обзор актуальных исследований в области.

Первая глава рассматривает основы биржевой торговли и особенности криптовалютных рынков, которые необходимы для разработки системы автоматизированной торговли и среднесрочной инвестиционной стратегии. В ней анализируются уровни поддержки и сопротивления, а также другие инструменты технического анализа. Описывается инфраструктура, созданная автором для анализа данных в реальном времени, и система тестирования стратегий. Подчеркивается важность диверсификации через стратегии, а не через активы, на основании исследования корреляции на криптовалютном рынке. Завершает главу обсуждение основных алгоритмических стратегий и системы тестирования.

Вторая глава посвящена подготовке и разметке данных, архитектуре и обучению моделей машинного обучения с учителем и с подкреплением. Рассматриваются статистические свойства многомерных временных рядов финансовых рынков. Создаются обучающие и тестовые выборки, выполняется разметка данных для задачи тернарной классификации. Представлены две модели: одна обучается с учителем, другая – с подкреплением, используя алгоритм DQN. Модели объединяются в ансамбль. Определяется торговая стратегия с переворотом позиций и формулируется многокритериальная оптимизационная задача. Входные данные включают информацию о уровнях поддержки и сопротивления. Первая модель прогнозирует временные ряды, в то время как вторая использует алгоритм DQN и ансамбль для обучения с подкреплением.

Третья глава представляет новый метод прогнозирования точек разворота на финансовых рынках, который сочетает алгоритмическую стратегию с фильтрацией сигналов через модель машинного обучения на основе DQN, что способствует повышению доходности. Описаны дополнительные признаки временных рядов и представлена финальная версия модели и стратегии как основной результат работы. Приведены результаты бэктестирования.

В заключении представлены основные результаты работы.

### ***Основные результаты диссертации и их научная новизна***

К основным результатам и особенностям диссертации Макарова И.С. можно отнести:

1. Определены статистические свойства многомерных финансовых временных рядов, а именно, свойства стационарности, самоподобия, корреляции и волатильности. Понимание данных свойств необходимо при формировании выборок данных для обучения и тестирования моделей машинного обучения.
2. Оценена применимость моделей классического машинного обучения с учителем при решении задач прогнозирования на многомерных финансовых временных рядах. Нейронная сеть, обученная решению задачи классификации на размеченных данных используется в качестве базовой модели.
3. Разработана среда для обучения с подкреплением моделей на основе нейронных сетей с рекуррентными слоями типа LSTM; построена архитектура моделей; обучены и оценены модели; выполнено ансамблирование нескольких моделей в единую экспертную систему.
4. Построены дополнительные вторичные признаки для многомерных финансовых временных рядов криптовалютного рынка на основе биржевой ленты сделок. Лента сделок отражает действия других участников рынка, в частности, крупных игроков. Декодирование этой информации и выделение важных сигналов позволяет подстраиваться под тех, кто обладает большей информацией о перспективах актива или рынка.

5. Разработано гибридное решение посредством сочетания алгоритмической стратегии и модели машинного обучения, фильтрующей сигналы алгоритмической стратегии. Таким образом организован процесс решения двух оптимизационных задач: первая задача посвящена определению пары оптимальных параметров алгоритмической стратегии методом поиска на двумерной сетке, вторая задача посвящена обучению с подкреплением модели фильтрации сигналов алгоритмической стратегии. Доказано, что такой подход дает лучшие результаты в терминах финансовых показателей.

### **Достоверность полученных результатов**

Степень достоверности результатов подтверждена экспериментальной проверкой на реальных данных, в том числе сторонними организациями, а также публикациями и докладами в рецензируемых научных изданиях и конференциях по машинному обучению.

### **Значимость полученных результатов**

Работа Макарова И.С. носит преимущественно прикладной характер. Основной научный результат работы состоит в представлении двухэтапного метода оптимизации торговой стратегии, в рамках которого на первом этапе решается задача многокритериальной оптимизации для поиска стабильных параметров алгоритмической стратегии, а на втором этапе выполняется обучение с подкреплением модели типа DQN на данных многомерных временных рядов, содержащих апериодические признаки. Эффективность предложенных моделей и методов продемонстрирована в ходе тестирования на реальных данных в составе автоматизированной торговой системы, внедренной в ООО «Интеллектуальные системы управления». Разработанные модели и методы являются универсальными и могут быть применены для активного обслуживания позиций в финансовых инструментах на любых фондовых, товарных и валютных биржах. Полученные в диссертации результаты могут использоваться при разработке и тестировании новых перспективных торговых стратегий и лежащих в их основе моделей. Кроме того, результаты могут быть использованы при построении соответствующих программных комплексов.

### **Замечания**

1. Предложенная в третьей главе гибридная модель и результаты ее применения на активах криптовалютного рынка не отражены полностью в публикациях ВАК.
2. Во введении в разделе проработанности темы перечислены некоторые существующие модели, однако не приведены метрики для оценки этих моделей, а также не проведено итоговое сравнение указанных моделей с предложенными автором в диссертации.
3. В работе представлен только один полный отчет системы валидации для финальной версии модели, однако, в рамках сравнения было бы целесообразно представить аналогичные отчеты и для других моделей.
4. Модель в главе 2 обучается и тестируется на одном наборе данных, а модели из главы 3 использую другой набор данных. Имеет смысл обозначить факт появления другого набора данных в начале рассмотрения всех моделей.
5. В главе 3 не приводится описание обновленной структуры входного вектора, содержащего апериодические признаки на основе ленты сделок.
6. В работе используются различного вида нейронные сети, указана их архитектура и количество обучаемых параметров, однако не указывается требуемое для обучения оборудование и не даны оценки затрачиваемого на обучение времени.

### **Заключительная оценка**

Отмеченные недостатки не оказывают влияния на положительную оценку диссертационной работы в целом. Результаты диссертации изложены в четырех публикациях

в изданиях, рекомендованных ВАК. Кроме этого, по основным результатам было опубликовано 6 тезисов докладов со всероссийских и международных конференций. Опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации. В диссертации приведены все необходимые ссылки на цитируемые источники в соответствии с п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней».

Диссертационная работа Макарова И.С. «Разработка методов прогнозирования точек разворота на многомерных временных рядах финансовых рынков на основе моделей машинного обучения с подкреплением» соответствует требованиям ВАК РФ (пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.1 - «Искусственный интеллект и машинное обучение», а её автор, Макаров И.С., заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по данной специальности.

Диссертационная работа, автореферат и отзыв на работу рассмотрены на заседании кафедры Программная инженерия, протокол № 14 от 25.10.2024 г. Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (МИ ВлГУ).

Заведующий кафедрой  
Программной инженерии МИ ВлГУ  
д.т.н., профессор

А.Л.Жизняков

**Фамилия, имя, отчество:** Жизняков Аркадий Львович

Наименование отрасли наук, научных специальностей, по которым составителем защищена диссертация: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

**Организация:** ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

**Сайт организации:** [www.vlsu.ru](http://www.vlsu.ru)

**Должность:** Заведующий кафедрой Программной инженерии МИ ВлГУ

**Почтовый адрес организации:** Россия, 600000, Центральный Федеральный округ, Владимирская область, г.Владimir, ул. Горького, дом № 87

**Контактный телефон:** +7(49234)77-101

**e-mail:** lvovich1975@mail.ru

#### **Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ)

Сайт: [www.vlsu.ru](http://www.vlsu.ru)

Почтовый адрес: 600000, Российская Федерация, г. Владимир, ул. Горького, д. 87

Телефон:

E-mail: oid@vlsu.ru