

ОТЗЫВ

Официального оппонента к.ф.-м.н. О.Г. Андриановой
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 разработки автоматизированных торговых систем обусловлена их способностью снижать затраты и увеличивать эффективность как для крупных компаний, так и для частных лиц. В условиях увеличивающегося объема данных и ускоряющихся транзакций, требуются алгоритмы и модели, способные быстро обрабатывать большие массивы информации. Машинное обучение автоматизирует задачи, которые ранее выполнялись людьми, и обеспечивает высокую точность решений, что критически важно в финансовой сфере. Современные модели могут работать с различными типами данных, позволяя учитывать разные факторы при анализе рынков. Объединение таких моделей в единую торговую систему способствует точному прогнозированию рыночной динамики.

Научная новизна работы состоит в новом методе, использующем комбинированный многомерный временной ряд, который включает как исходные, так и рассчитанные показатели, такие как уровни поддержки/сопротивления, индикаторы и осцилляторы. Для обучения моделей разработана среда с подкреплением, где вознаграждение основано на достигнутой модели доходности. Архитектура модели основана на нейронной сети типа DQN (Deep Q-Network) для прогнозирования изменений тренда. Предложена комбинированная модель, объединяющая строгий алгоритм и модель машинного обучения с фильтрацией сигналов. Обученные модели внедрены в систему автоматической торговли и демонстрируют превосходство над альтернативными моделями и стратегиями, основанными на техническом анализе или обучении с учителем.

Достоверность 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.

Теоретическая значимость работы заключается в оригинальном решении задачи прогнозирования точек разворота на временных рядах за счет использования дополнительных аперiodических вторичных признаков, и предложенном двухэтапном методе оптимизации гибридной стратегии, которая основана на классической алгоритмической стратегии, сигналы которой фильтруются посредством модели машинного обучения на архитектуре DQN.

Практическая ценность обусловлена реализацией активной среднесрочной инвестиционной стратегии на основе прогнозирования точек разворота посредством комбинирования базовой алгоритмической стратегии и модели машинного обучения с подкреплением в составе автоматизированной торговой системы. Данная система внедрена в качестве одного из программных решений в ООО «Интеллектуальные Системы Управления», которое подтвердило практическую ценность указанных разработок.

Работа состоит из введения, 3 глав и заключения.

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме,

формулируется цель, ставятся задачи работы, описывается научная новизна и практическая значимость представляемой работы.

В первой главе рассматриваются ключевые аспекты биржевой торговли и специфика криптовалютных рынков, важные для создания системы автоматической торговли и среднесрочной инвестиционной стратегии. Особое внимание уделено использованию уровней поддержки и сопротивления, а также другим инструментам технического анализа. Автор описывает разработанную им инфраструктуру, включающую систему анализа данных в реальном времени на базе торгового терминала Quik и систему тестирования среднесрочных стратегий. Детально освещаются такие темы, как типы заявок, маржинальная торговля, особенности фьючерсов, биржевые индексы и работа блокчейнов. Представлена высокопроизводительная архитектура системы автоматической торговли на основе Quik 8.0 для обработки финансовых данных в режиме реального времени. Исследования показали сильную коррелированность криптовалютного рынка, что подчеркивает необходимость диверсификации через стратегии, а не через активы. В заключение главы обсуждаются базовые алгоритмические стратегии на основе технических индикаторов и система тестирования стратегий.

Во второй главе описан процесс подготовки, разметки данных, архитектуры и методов обучения моделей машинного обучения с учителем и с подкреплением. Рассмотрены статистические характеристики многомерных временных рядов финансовых рынков. Сформированы обучающие и тестовые выборки, а также выполнена разметка данных для задачи тернарной классификации. Представлены две версии моделей: одна обучается с учителем, другая – с подкреплением, используя алгоритм DQN. Модели, обученные по-разному, объединены в ансамбль. Определена торговая стратегия с переворотом позиций и поставлена многокритериальная оптимизационная задача. Итоговый набор данных включает информацию об уровнях поддержки и сопротивления. Первая версия модели прогнозирует временные ряды, вторая использует алгоритм DQN и ансамбль моделей для обучения с подкреплением.

В третьей главе представлен оригинальный подход к прогнозированию точек разворота на финансовых рынках с использованием вторичных признаков и двухэтапной оптимизации гибридной стратегии. Стратегия комбинирует классическую алгоритмическую стратегию с фильтрацией сигналов через модель машинного обучения на основе DQN, что существенно увеличивает доходность. Описаны дополнительные признаки временных рядов и представлена итоговая версия модели и стратегии как ключевой результат работы. Приводятся результаты бэк-тестирования этой стратегии.

В заключении представлены основные результаты работы.

Название диссертации правильно и полно отражает её содержание. Автореферат соответствует содержанию и структуре диссертации и не искажает её смысла и полученных результатов. Диссертация и автореферат соответствуют избранной научной специальности 1.2.1 - «Искусственный интеллект и машинное обучение».

Замечания:

1. В подразделе «Актуальность» не со всем понятен переход к нумерованному списку из 6 пунктов. Что это, мотивация для проведения данного исследования? Стоило бы дать поясняющий комментарий.
2. В формуле (1.1) момент времени момент времени T не определен. Что под ним подразумевается? Момент времени t текущий, верно?

3. В формуле (1.2) используется коэффициент масштабируемого среднего i -ой компании. По какой формуле / на основе какой таблицы его можно посчитать?
4. В формуле (2.5) на основании чего определялись границы для коэффициентов Сортино и Шарпа? R_m – построенная стратегия (обозначение не введено)?
5. В формулах (2.13) и (2.16) должны быть квадраты, а не умножение на 2. После (2.14) в тексте дана ссылка на неверный пункт.
6. Стоило бы определить, что такое сильные и слабые модели.

Общее заключение. В целом, диссертация Макарова И.С. является законченным научно-квалификационным исследованием, представляющим решение ряда актуальных задач, объединённых общим подходом. Указанные замечания не снижают общую положительную оценку выполненной автором работы. Структура и содержание диссертации соответствуют целям и задачам исследования. Основные результаты изложены в 4 публикациях в рецензируемых журналах из списка ВАК, а также по основным результатам было опубликовано 6 тезисов докладов со всероссийских и международных конференций.

Диссертационная работа Макарова И.С. «Разработка методов прогнозирования точек разворота на многомерных временных рядах финансовых рынков на основе моделей машинного обучения с подкреплением» соответствует 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.

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник лаборатории №16 «Нелинейных систем управления им. Е.С. Пятницкого» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.

Моб.: +7 926 888 0832

e-mail: andrianovaog@gmail.com

25.10.2024 *Андрю* О.Г. Андрианова

Подпись *О. Г. Андрианова*

ЗАВЕРЯЮ

ВЕД. ИЖЕ ИСР

ЗАЛОЖЕВА Л.Л.

