

На правах рукописи

**Николаева Юлия Викторовна**

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ТРЕЙДЕРОВ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ**

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Брянск – 2018

Работа выполнена на кафедре «Защита информации в компьютеризированных системах» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор

**Лялин Вадим Евгеньевич**

**Официальные оппоненты:**

**Добрица Вячеслав Порфирьевич** – доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», профессор кафедры «Информационная безопасность»

**Подвесовский Александр Георгиевич** – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Информатика и программное обеспечение»

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Защита состоится «09» октября 2018 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.021.03 на базе ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» по адресу: г. Брянск, ул. Харьковская, д. 10-Б, учебный корпус № 4, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на официальном сайте <http://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/nikolaeva-yuliya-viktorovna1>.

Отзывы на автореферат присылать по адресу: 241035, г. Брянск, б-р 50 лет Октября, 7, ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет".

Автореферат разослан

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Рытов Михаил Юрьевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Развитие теоретических основ управления социально-экономическими организационными системами ведет к совершенствованию методов моделирования процесса принятия решений, в том числе в отрасли биржевой торговли и финансовых рынков, рациональное управление которыми ведет к росту стабильности инвестиционных процессов в стране. В условиях текущей экономической реальности все большее число профессиональных трейдеров придерживаются подхода, предполагающего независимость временного ряда котировок конкретного финансового инструмента от остальных. С развитием методов интеллектуального анализа данных у сторонников данных идей появилась реальная возможность на практике применять сложные многопараметрические модели для определения внутренних неочевидных закономерностей развития динамической системы – рынка выбранного финансового инструмента. Несмотря на нарастающую скорость автоматизации отрасли биржевой торговли, потребность в разработке эффективного инструментария для анализа финансовых рынков и необходимость исследований в области информационных систем поддержки принятия решений (СППР) для торговли на финансовых рынках сохраняется.

Исторически анализ финансовых рынков проводился с помощью технических индикаторов. Далее развивалась область исследований по анализу и прогнозированию временных рядов такими учеными, как G.E.P. Box, G.M. Jenkins, D.R. Brillinger, C. Holt, P. Winters, Лукашин Ю.П., Афанасьев В.Н., Канторович Г.Г. Встречаются работы по прогнозированию финансовых временных рядов, например, Осминин К.П., Орлов Ю.Н. С развитием нейросетевой методологии стал возможен новый подход к анализу финансовых рынков – классификация паттернов состояний системы. Методами распознавания образов и классификации с использованием нейронных сетей занимались F. Rosenblatt, D.E. Rumelhart, G.E. Hinton, R.J. Williams, T. Kohonen, А. И. Галушкин, А.Н. Горбань, В.Л. Дунин-Барковский, Е.М. Миркес, работы по анализу финансовых рынков: Бэстенс Д.-Э., ван ден Берг В.-М., Ежов А. А., Шумский С.А., Ширяев В. И., Бугорский В.Н., Сергиенко А.Г.

С усложнением математических инструментов анализа рынков, трейдеры оказываются в ситуации, в которой им необходимо отслеживать количество различных данных, выявлять для себя значимость критериев в общей модели анализа. Для автоматизации этих процессов получили распространение в последнее десятилетие торговые роботы, которые сами заключают сделки на финансовых рынках, исключая трейдера из процесса принятия решений. Такие системы не принесли ожидаемого эффекта, так как они не учитывают психологические основы рыночной системы. Поэтому именно трейдер выступает в системе «финансовый рынок выбранного финансового инструмента» в качестве лица принимающего решения (ЛПР), а задачей информационных систем является помощь в принятии решений в сложных условиях при слабоструктурированной информации о предметной области, каковыми являются финансовые рынки. Существующие системы поддержки принятия решений (СППР) в целом обеспечивают трейдера рекомендациями по вхождению в сделку, не выдавая информацию о том, как долго находится в сделке и при достижении какой прибыли выходить из сделки, а также не учитывают риск повышения волатильности под влиянием изменений макроэкономических показателей, экономических событий.

Таким образом, объективно сложилось противоречие, заключающееся в том, что существующие методы и системы поддержки принятия решений, основанные на интеллектуальном анализе данных, не обеспечивают пользователя информацией о критериях закрытия сделки и рисках повышения волатильности под влиянием экономических событий и новостей, тогда как при практическом применении данных систем пользователю при открытии сделки по выданной СППР рекомендации необходимо понимать, при достижении какой прибыли необходимо закрывать сделку, а также анализировать риски изменений котировок, связанные с выходом экономических новостей и событий разной степени важности.

**Целью исследования** является повышение эффективности принятия управленческих решений участников рынка, заключающееся в достижении ими положительных результатов при торговле, за счет применения интеллектуальной системы поддержки принятия решений трейдеров финансовых рынков.

Для достижения главной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Исследование и анализ существующих методов и средств анализа финансовых рынков и временных рядов, и выбор наиболее удовлетворяющих параметрам эффективности и программной реализуемости.

2. Исследование, анализ и выбор методов и средств интеллектуальных систем поддержки принятия решений, подходящих для задач классификации.

3. Разработка метода генерации выходной выборки для обучения нейронной сети с учетом ожидаемой прибыли и повышения волатильности.

4. Разработка методики поддержки принятия решений трейдера по направлению сделки с финансовым инструментом, основанной на нейросетевой методологии с применением методов технического, фундаментального анализа и эконометрического моделирования, и алгоритма ее реализации в системе поддержки принятия решений.

5. Проектирование и разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений на языке высокого уровня, исследование ее работоспособности на реальных примерах.

**Объектом исследования** являются финансовые рынки, как сложные системы, и порождаемые ими данные по изменениям цен финансовых инструментов, представляющие собой одномерные временные ряды.

**Предметом исследования** является математическое, алгоритмическое, программное обеспечение анализа финансовых рынков; методы классификации ситуаций на финансовых рынках; методы анализа временных рядов.

**Методы исследования.** В работе использованы методы системного анализа, математического моделирования, методы теории вероятности, математической статистики, фундаментального и технического анализа, нейросетевого моделирования, теории принятия решений, методы разработки настольных и веб-приложений.

**Научная новизна и результаты, выносимые на защиту:** Научная новизна полученных результатов определяется комплексными исследованиями, направленными на разработку методов, алгоритмов и программных средств анализа и классификации ситуаций на финансовых рынках, в ходе которых:

1. Разработан метод генерации выходной выборки для обучения нейронной сети с учетом повышения волатильности, использующийся для формирования выходной выборки при обучении нейронной сети в задаче классификации рыночных

ситуаций, *отличающийся* возможностью задания ожидаемой прибыли, *позволяющий* исключить влияние на эффективность работы ИСППР квалификации эксперта и учесть риск повышения волатильности, связанный с влиянием макроэкономических показателей и новостей.

2. Разработаны методика поддержки принятия решений трейдера по направлению сделки с финансовым инструментом, заключающаяся в нейросетевой классификации рыночных ситуаций с применением методов технического, фундаментального анализа и эконометрического моделирования, и алгоритм ее реализации в системе поддержки принятия решений на финансовых рынках, основанные на применении нейронной сети, на входы которой подаются данные, полученные в результате: построения эконометрической модели, использования технических индикаторов, анализа реакции на события экономического календаря, *отличие* которых заключается в обучении нейросети на основе оценок с учетом ожидаемой прибыли от сделки и повышения волатильности. Методика *позволяет* проводить анализ многокритериальной информации о текущем состоянии рынка конкретного финансового инструмента, учитывая основные подходы к анализу финансовых рынков: прогнозирования временных рядов, технического анализа, фундаментального анализа (в части анализа влияния на повышение волатильности выхода экономических новостей).

3. Реализована интеллектуальная система поддержки принятия решений «НейроПрофит», функциональное и детальное проектирование системы, программное, информационное и математическое обеспечение системы и результаты ее экспериментального использования, *отличающаяся* наличием:

- информационных связей, *позволяющих* ЛПП задавать параметры анализа в виде ожидаемой прибыли от сделки с конкретным финансовым инструментом на выбранном временном интервале;
- модуля фундаментального анализа, *позволяющего* выявлять для выбранного финансового инструмента значимые новости и события из экономического календаря, полученного с помощью веб-сервиса, а также анализировать коэффициент повышения волатильности на данные события;
- кэша данных, *позволяющего* обращаться к результатам технического, эконометрического, фундаментального анализа, при повторном использовании системы поддержки принятия решений для выбранного финансового инструмента и временного интервала с изменением параметра ожидаемой прибыли для получения альтернативной рекомендации, сокращая временные затраты при повторной подготовке данных системы для нейросетевого анализа;
- базой данных, хранящей результаты обучения нейронной сети для различных финансовых инструментов и временных интервалов, оцененных пользователем, которая *позволяет* подбирать ранее сохраненные веса нейронной сети, подходящей для выбранных параметров, снижая время обучения нейронной сети при многократном использовании системы для повторяющихся параметров.

**Практическая значимость работы** заключается в применении на практике интеллектуальной СППР, функционирующей на основе разработанных алгоритмов и методов, а именно:

1. Использование разработанной методики и алгоритма ее реализации при управлении стратегией заключения сделок позволяет трейдерам увеличить достовер-

ность выдаваемых рекомендаций на 8-26% по сравнению с аналогичными методиками нейросетевого анализа рыночных ситуаций.

2. Разработанный метод генерации выходной выборки с учетом ожидаемой прибыли обеспечивает трейдера не только информацией по направлению открытия сделки, но и явным количественным критерием для закрытия сделки с прибылью, увеличивая количество прибыльных торговых операций с 75 до 83 %.

3. Разработанный метод генерации выходной выборки позволяет минимизировать влияние квалификации эксперта в процессе обучения нейросети (практически свести к 0 вероятность ухудшение результатов обучения нейросети из-за некомпетентности учителя).

4. Разработанная архитектура ИСППР позволяет сохранять наилучшие случаи обучения нейросети на конкретных параметрах, ускоряя в 2 раза ее повторное обучение на аналогичных параметрах при последующих использованиях ИСППР.

**Соответствие паспорту специальности.** Согласно паспорту специальности 05.13.10 Управление в социальных и экономических системах диссертационная работа соответствует п. 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах» в части разработки метода генерации выходной выборки для обучения нейросети с учетом ожидаемой прибыли и повышения волатильности, п.5 «Разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в социальных и экономических системах» и п. 10 «Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах» в части разработки методики поддержки принятия решений трейдера по направлению сделки с финансовым инструментом, заключающейся в нейросетевой классификации рыночных ситуаций, и интеллектуальной системы поддержки принятия решений трейдеров финансовых рынков.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации и материалы исследования докладывались на следующих конференциях: Научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и молодых ученых «Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке» (ИжГТУ, 15-18 марта 2011 г.); Межвузовская студенческая научная конференция «Communication of Students, Master Students and Postgraduates in Academic, Scientific and Professional Areas» (ИжГТУ, 27 апреля - 3 мая 2011 г.); «Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке, III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием» (Ижевск, 22-23 апреля 2015 г.); «Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке, IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием» (Ижевск, 20-22 апреля 2016 г.); Международная научно–практическая конференция «Новая наука: от идеи к результату» (Сургут, 22.10.2016 г.); Международная научно-практическая конференция «Новая наука: стратегии и векторы развития» (Магнитогорск, 08.05.2017 г.); «Научные революции: сущность и роль в развитии науки и техники» (Пермь, 08.05.2017 г.).

**Публикации.** Различные аспекты и результаты научного исследования опубликованы в 15 научных работах, в том числе 8 статей в журналах, из которых 7 в рекомендованных ВАК РФ периодических изданиях, и 7 тезисов докладов.

**Достоверность и обоснованность результатов диссертации** подтверждается:

экспериментами по применению разработанных методов и интеллектуальной системы поддержки принятия решений к данным котировок курсов валют, акций, фьючерсов; корректным использованием положений теории нейронных сетей; подтверждением результатов проведенных исследований на основе математической статистики; рецензированием печатных работ, их обсуждением на научно-технических конференциях, экспертизой для авторского свидетельства разработанной ИСППР.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационной работы по разработке интеллектуальной системы поддержки принятия решений трейдера финансовых рынков представлены на выставке инноваций 2016 (весенняя сессия) бизнес-инкубатора ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. Разработанная интеллектуальная система поддержки принятия решений «НейроПрофит» и база данных зарегистрированы в Реестре программ для ЭВМ: свидетельства № 2016661369, 2016621361. Система используется автором для индивидуальной инвестиционной деятельности на финансовых рынках. Отдельные результаты диссертационного исследования используются при проведении лекционных, лабораторных и практических занятий студентов по дисциплинам «Методы оптимизации», «Базы данных», «Интеллектуальные информационные системы» на кафедре ЗИКС ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова».

**Личный вклад соискателя.** Все исследования, результаты которых изложены в диссертации, получены лично соискателем в процессе научных исследований и экспериментов. Из совместных публикаций в диссертацию включен только тот материал, который непосредственно принадлежит соискателю, а именно в [3] описаны примеры применения нейронных сетей для повышения экономической эффективности нефтегазовых предприятий, в [4] разработана структура хранения данных для СППР на финансовых рынках, в [8] приведены результаты экспериментального исследования по применимости RSI для смены трендов.

**Структура и объем диссертационной работы.** Объем диссертационной работы составляет 230 страниц, включая 60 рисунков и 30 таблиц. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка использованных источников, включающего 136 наименования, в дополнение к работе приводятся 5 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** содержит обоснование актуальности темы, формулировку цели и задач исследования, основные положения, выносимые на защиту, определяет научную новизну, практическую значимость, содержание и результаты апробации и внедрения работы. Приведено обоснование необходимости использования трейдером при анализе финансового рынка системы, предназначенной для помощи в принятии решений по направлению сделки с финансовым инструментом.

**В первой главе** приведена постановка задачи управления на финансовых рынках, как организационных системах. Рассмотрены распространенные методы анализа финансовых рынков, выявлены преимущества и недостатки. Приведен обзор подходящих методов и средств интеллектуальных систем поддержки принятия решений для задачи классификации информации о состоянии системы рынка выбранного финансового инструмента. Более подробно рассмотрены теоретические основы нейросетевой методологии.

Финансовые рынки являются одной из разновидностей сложных социально-

экономических систем, управление которыми требует разработки специализированного инструментария, направленного как на анализ многокритериальной информации, так и на поддержку принятия решений. Для обоснованного анализа рынка с целью выявления соответствия текущего состояния системы паттерну продажи или покупки трейдеру требуется СППР (см. рисунок 1). Системы, основанные на методах интеллектуального анализа данных, называются интеллектуальные СППР (ИСППР).

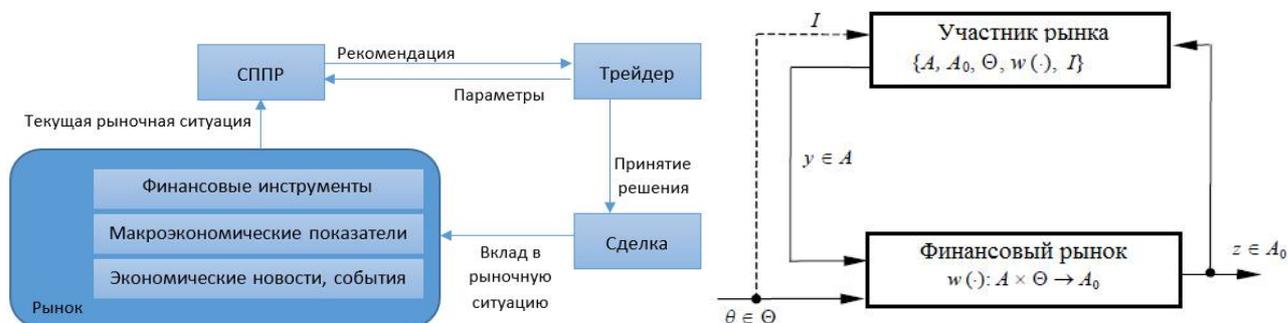


Рисунок 1 – Обоснование необходимости СППР трейдеру финансовых рынков (справа) и структурная схема модели принятия решения участником рынка (слева)

Задача анализа финансового рынка с целью принятия рационального решения его участником сводится к построению такой целевой функции  $WI(\cdot)$ , отражающей зависимость результата  $z$  (из множества допустимых результатов деятельности  $A_0$ ), выбранной стратегии действия  $y$  при заданных информационном описании состояния системы  $I$ , множестве вариантов:  $A = \{\text{продажа; покупка; ожидание}\}$ , учитывая предпочтение  $R_{A_0}$  участника (получения прибыли от совершаемых сделок). Под классификацией рыночных ситуаций (в данной работе) понимается отнесение текущей ситуации на рынке выбранного финансового инструмента к множеству вариантов  $A$ .

**Во второй главе** описываются методы и алгоритмы, направленные на разработку методики поддержки принятия решений трейдера по направлению сделки. Приводятся алгоритмы вычисления значений выбранных технических индикаторов, обоснование выбора прогнозной модели условной обобщенной авторегрессионной гетероскедстичности, численный метод нахождения ее коэффициентов. Рассматриваются алгоритмы применения многослойного перцептрона в качестве классификатора рыночных ситуаций. Приводится алгоритм реализации в СППР разработанной методики нейросетевой классификации ситуаций на финансовых рынках. Описаны результаты исследования влияния экономического календаря на волатильность котировок. Описаны метод генерации выходной выборки для обучения нейронной сети, учитывающий ожидаемую прибыль и повышение волатильности, и алгоритм исключения кризисных паттернов из входной выборки для обучения нейронной сети.

Идея создания методики поддержки принятия решений трейдера основана на эмуляции анализа трейдером привычных ему данных: значений по техническим индикаторам RSI, MACD, значений по прогнозной модели GARCH, знание о влиянии на волатильность рынка приближающихся экономических событий. По полученным данным трейдер на основе своих знаний и опыта делает вывод о текущей рыночной ситуации, и с учетом ожидаемой прибыли вступает в сделку. ИСППР, основанная на методике нейросетевой классификации рыночных ситуаций, аналогично анализирует все полученные данные и выдает рекомендацию по направлению сделки. Методика поддержки принятия решений может быть рассмотрена через построение нейросетевой динамической системы, обрабатывающей данные из трех основных подходов к

анализу рынков, и предоставляющей на выходе ответ, к какому классу относится текущая рыночная ситуация выбранного финансового инструмента. Последовательность шагов построения нейродинамической системы:

Шаг 1. Определение и подготовка входных данных.

Шаг 2. Генерация выходных данных для обучения и тестирования нейросети.

Шаг 3. Построение архитектуры нейросети.

Шаг 4. Обучение нейронной сети классификации входных данных на основе подготовленных выходных значениях, и тестирование сети.

Шаг 5. Реализация нейросети в ИСППР.

*Определение и подготовка входных данных для нейросетевой динамической системы.* Обозначим за  $\Psi$  формальную постановку задачи принятия торгового решения.  $\Psi$  состоит из множества исходных данных  $I$  и множества выходных объектов, подлежащих определению  $O$ . Для решения задачи классификации необходимо построить динамическую систему, ядром которой выступает нейронная сеть. На вход системы подается  $I$ , а на выходе снимается  $O$ , в данной системе это решение о направлении сделки с финансовым инструментом в текущей ситуации. Нейросетевая классификация заключается в распознавании во входных данных закономерностей и отнесении к одному из образов, где  $I_t$  – вектор входных значений,  $O_t$  – выходной вектор из одного значения, обозначающего степень близости к классу продажи (значения из множества  $[0;0,45]$ ), классу ожидания ( $[0,45;0,55]$ ), к классу покупки ( $[0,55;1]$ ).

Множество  $I$  для нейронной сети включает изменения цен финансового инструмента, значений по прогнозной модели для нестационарных временных рядов (GARCH) и технических индикаторов (RSI, MACD).

Индекс относительной силы (RSI) – осциллятор, измеряющий относительную силу увеличений и уменьшений цены финансового инструмента за некоторое время. Индикатор MACD – разность между длинной и короткой скользящими средними цены, определяет сигналы разворота тренда. Модель обобщенной авторегрессионной условной гетероскедастичности (GARCH) – эконометрическая модель для прогнозирования временных рядов, составленная на предположении о наличии гетероскедастичности остатков по ней. Гетероскедастичность подразумевает нестационарную дисперсию, распространенную для финансовых временных рядов.

Входные параметры необходимо привести к одной размерности для сглаживания вноса каждого из критериев при обучении нейронной сети. Нормируем все входные значения в интервал от  $[-1;1]$  с применением функции гиперболического тангенса с подобранным коэффициентом наклона по формулам:

$$\tilde{x}_i = th\left(\frac{y}{\alpha}\right), \text{ где } y = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i}, \text{ а } \alpha = \frac{y_{\max} \cdot 4}{\pi} - \text{коэффициент наклона.}$$

*Определение и подготовка выходных данных.* Выходом  $O_t$  может выступать оценка аналитика по степени близости рыночной ситуации, то есть текущего входного набора значений, к одному из классов. Использование экспертных оценок каждый раз требует квалификации аналитика и ограничивает возможности автоматизации процесса обучения.

В вектор  $I_t$  включены в том числе и 10 предыдущих цен финансового инструмента. Обозначим часть входного вектора, необходимого для формирования выхода сети, за  $C_t$ . Метод генерации выходного значения на основе входного вектора  $C_t$  заключается в сравнении процента достижения ожидаемой прибыли при покупке и

продаже на указанном временном промежутке. Алгоритм автоматизации процесса обучения нейронной сети с учетом ожидаемой прибыли:

1. Задаем ожидаемый уровень прибыли  $Pr$ , который планируется достигнуть трейдером при заключении сделки по конкретному финансовому инструменту в следующие  $n$  периодов.
2. Для каждого входного вектора  $I_t$  среди значений в  $C_t$  вычисляем максимальное повышение и понижение от первой цены закрытия в выборке *Max high (low)*.
3. Для каждого входного вектора вычисляем процент максимального повышения, понижения от ожидаемой прибыли *Proc Max high, Proc Max low*.
4. Если  $Proc Max high > Proc Max low$ , возвращает результат покупки:

$$R = 0.5 + 0.05 * ProcMaxHigh * 100 \quad (1).$$

5. Если  $Proc Max high < Proc Max low$ , возвращает результат продажи:

$$R = 0.5 - 0.05 * ProcMaxLow * 100 \quad (2).$$

6. Если  $Proc Max high = Proc Max low$ , возвращает результат ожидания:  $R=0.5$ , если процент достижения прибыли менее 50, иначе анализируем направление покупки или продажи по тренду.

Таким образом, для каждого обучающего входного набора  $I_t$  формируется обучающий выход нейронной сети  $O_t$  в диапазоне от 0 до 1 по приведенному алгоритму.

Таблица 1 – Результаты тестирования нейросети для классификации рыночных ситуаций с экспертными оценками и по методу генерации выходной выборки

Рекомендация	Процент верных рекомендаций	
	Экспертная оценка	Метод генерации выходной выборки с учетом ожидаемой прибыли
Покупать	52,2%	69,7%
Ожидать	30%	58,8%
Продавать	72,2%	78,6%
Итого	62,2%	73,2%

Использование автоматического метода генерации выходной выборки с учетом ожидаемой прибыли, нивелирует воздействие личной стратегии эксперта и уменьшает риски неверного обучения нейросети из-за некомпетентности учителя.

Также при обучении и формировании выходного значения стоит учитывать коэффициент, который определяется на основе влияния событий экономического календаря на повышение волатильности в ряду цен финансового инструмента (более 94% исследованных случаев повышения волатильности вызваны реакцией на публикацию экономических новостей). Относительно желательной прибыли  $Pr$  обучаем систему распознаванию классов покупки или продажи финансового инструмента, выдавая в качестве ответа значение, зависимое от максимальных повышений и понижений. Если системе дается ответ в период, на который приходится экономическое событие, экстремальное значение обусловлено повышением волатильности, и оно может не повториться в выборке, предоставленной системе при ее функционировании в случае отсутствия аналогичной степени влияния экономического события. Аналогично, если в обучающем примере обычная волатильность, а в анализируемом системой примере повышенная. При обучении системы если значение меры волатильности получается выше обычного ( $>100$ ), то обучаем по скорректированной ожидаемой прибыли:  $kPr$ , где  $k$  – коэффициент повышения волатильности. Алгоритм определения коэффициента повышения волатильности:

1. Вычислить среднее значение квадрата отклонений от максимальных (*high*) и минимальных цен (*low*) в обучающей выборке с повышенной волатильностью.

$$\sigma_{highVolat}^2 = \frac{\sum e_{highVolat}^2}{n_{Volat}}, \sigma_{lowVolat}^2 = \frac{\sum e_{lowVolat}^2}{n_{Volat}} \quad (3),$$

где  $n_{Volat}$  – количество примеров в выборке с повышенной волатильностью.

2. Вычислить среднее значение квадрата отклонений от *high* и *low* для всех случаев в обучающей выборке с нормальной волатильностью.

$$\sigma_{highNorm}^2 = \frac{\sum e_{highNorm}^2}{n_{Norm}}, \sigma_{lowNorm}^2 = \frac{\sum e_{lowNorm}^2}{n_{Norm}} \quad (4),$$

где  $n_{Norm}$  – количество примеров в выборке с обычной волатильностью.

3. Вычислить процент среднего значения квадрата отклонений от *high* для случаев с обычной волатильностью от среднего значения квадрата отклонений от *high* (*low*) для случаев с повышенной волатильностью.

$$k_{high} = \frac{\sigma_{highNorm}^2 \cdot 100}{\sigma_{highVolat}^2}, k_{low} = \frac{\sigma_{lowNorm}^2 \cdot 100}{\sigma_{lowVolat}^2} \quad (5).$$

4. Вычислить среднее значение между процентами отклонений обычной и повышенной волатильности для *high* и *low*.

$$k = 1 + \frac{k_{high} + k_{low}}{2} / 100 \quad (6).$$

При резком повышении цены в условиях повышенной волатильности уменьшаем процент максимального повышения на данный коэффициент ( $ProcMaxHigh/k$ ). При понижении цены в условиях повышенной волатильности, увеличиваем процент максимального понижения ( $ProcMaxLow*k$ ).

Приведенные выше методы и алгоритмы генерации и обработки входных и выходных сигналов для нейросетевого классификатора, позволяют обучать и использовать многослойный перцептрон на значимых данных.

*Построение архитектуры нейросети.* Архитектура нейронной сети подбирается на основе теории нейронных сетей и методов математической статистики: при заданном числе слоев, ограничении на максимальное число нейронов минимизируется число нейронов входного слоя; распределение количества нейронов во входном слое по каждому из разнородных признаков, определяется на основе зависимости выборок цен финансового инструмента, технических индикаторов и прогнозной модели; количество нейронов в скрытом и выходном слое определяется постановкой задачи.

Для заранее заданного числа слоев  $W=3$  и при ограничениях на количество нейронов  $H$  в сети находим структуру, оптимальную по верхней оценке. Учитывая, что ограничение на максимальное количество нейронов равно 50 и количество выходных нейронов равно 1 получаем для первого слоя  $\gamma_1=22$  – оптимальное количество нейронов. Распределение этого количества по входным признакам (цены, RSI, MACD, GARCH) определяется по степени связанности с основным признаком – ценой финансового инструмента (см. коррелограммы на рисунке 2). Методами корреляционного анализа доказана обоснованность включения в входное множество значений: цен с задержкой до 10 дней; RSI с задержкой до 3 дней; MACD с задержкой до 4 дней; GARCH с задержкой до 4 дней.

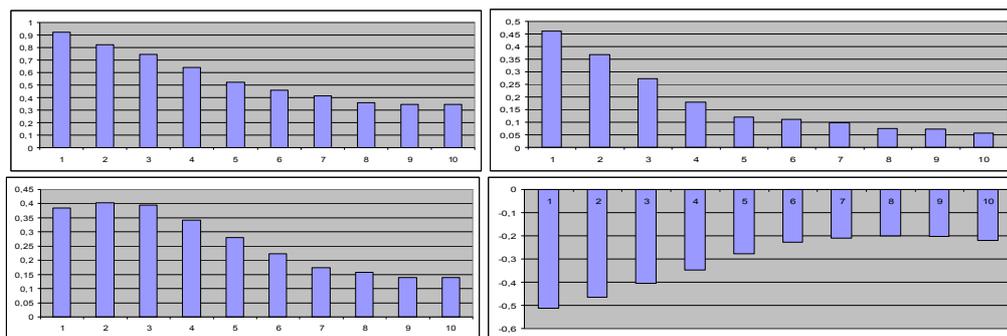


Рисунок 2 – Коррелограммы (слева направо, сверху вниз): автокоррелограмма цен; цен и RSI; цен и GARCH; цен и MACD.

Таким образом в сеть включаем 22 входных нейрона, из которых 4 – это значения цен, RSI, MACD, GARCH за текущий период, 9 являются значениями цен за предыдущие 9 периодов, по 3 – значения RSI, MACD, по прогнозной модели; 3 нейрона в промежуточном слое, в выходном – 1 нейрон (см. рисунок 3).

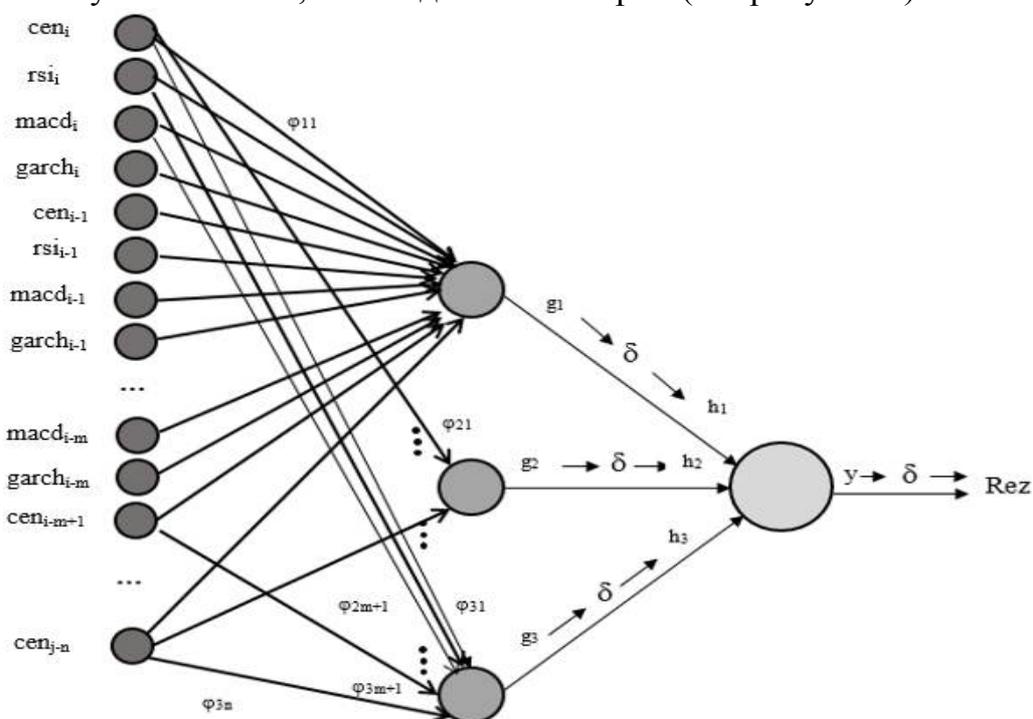


Рисунок 3 – Архитектура спроектированной нейросети

*Обучение нейронной сети классификации входных данных на основе выходных значений, и тестирование сети.* Обучение и тестирование многослойного перцептрона, классифицирующего рыночные ситуации, производится алгоритмом обратного распространения ошибки на выборке из 200 предыдущих значений цен, соответствующих им значениям технических индикаторов RSI и MACD и значений по прогнозной модели GARCH. Выходами в обучающем множестве являются значения, полученные по методу генерации выходной выборки с учетом ожидаемой прибыли. Нейронная сеть учиться устанавливать соответствие между входными значениями и будущими повышениями или понижениями цены с учетом ожидаемой прибыли.

#### *Реализация нейросети в ИСППР*

После определения входных и выходных данных, синтеза архитектуры нейросети и определения алгоритма ее обучения, можно перейти к составлению алгоритма применения в СППР предложенной методики поддержки принятия решений трейде-

ра, заключающейся в нейросетевой классификации рыночных ситуаций, с учетом пользовательских параметров: финансового инструмента, временного периода, ожидаемой прибыли (см рисунок 4).

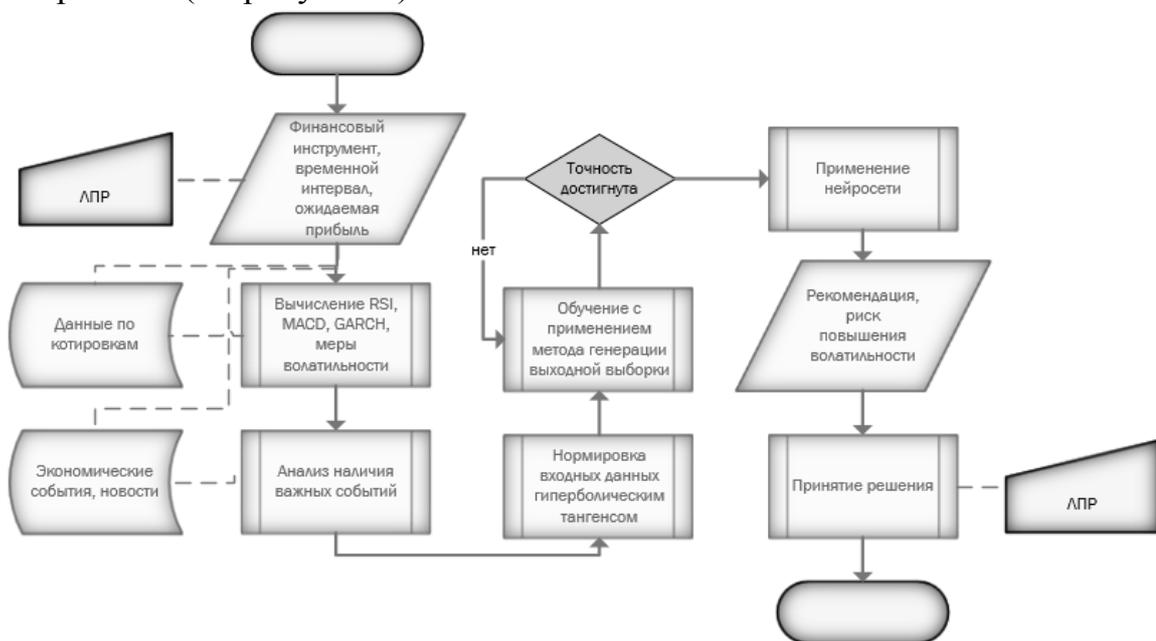


Рисунок 4 – Схема алгоритма нейросетевой классификации рыночных ситуаций

В третьей главе приведены проектные решения по разработке интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе описанной методики нейросетевой классификации рыночных ситуаций. Приведены этапы функционального и детального проектирования, проектирования базы данных (см. рисунок 5). Даны практические рекомендации по проектированию информационных систем типа СППР.

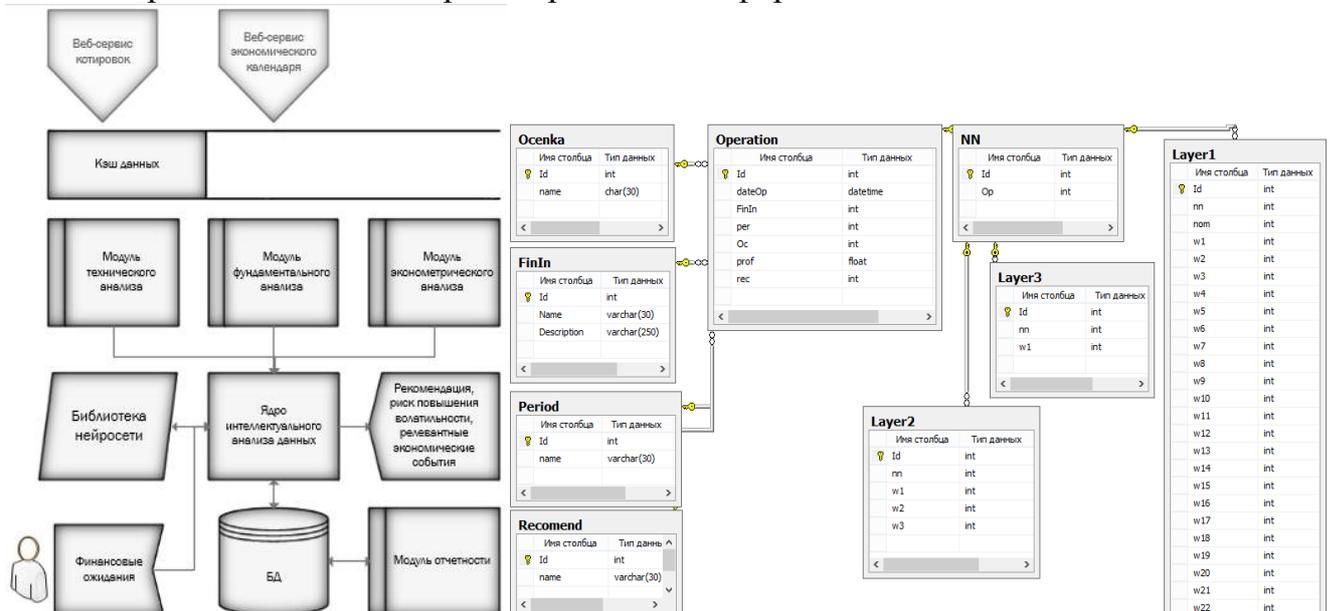


Рисунок 5 – Архитектура системы (слева), концептуальная модель БД (справа)

Система «НейроПрофит» состоит из 3 модулей, каждый из которых соответствует одному из подходов для анализа рынков. Для получения исходных данных используются 2 веб-сервиса для получения данных из интернета. Полученные данные хранятся в кэше, который позволит многократно к ним обращаться без необходимости повторной загрузки. Информация, преобразованная в этих трех модулях,

передается в ядро системы, которым является непосредственно нейросеть и прочие механизмы анализа данных.

На вход системы подаются 200 предыдущих цен выбранного пользователем финансового инструмента (акции, фьючерсы, валюты), а также события экономического календаря. Управлением в системе выступает ожидание пользователя (заданная ожидаемая прибыль, ожидания по быстродействию системы), механизмом выполнения является все математическое и алгоритмическое обеспечение системы. Выходом системы является рекомендация по покупке-продаже финансового инструмента, графики цен и технических индикаторов, отображение экономического календаря с релевантными событиями для выбранного финансового инструмента.

Основной интеллектуальный анализ всех преобразованных данных происходит в ядре системы, которым является программная реализация спроектированной нейросети, внутри которого сеть обучается на загруженном и предварительно подготовленном множестве входных значений и, получая выходные значения с помощью реализации метода генерации выходных значений с учетом ожидаемой прибыли, минимизирует ошибку обучения, затем тестируется на тестовом множестве. И в итоге с подобранными весами анализируются последние 10 векторов из входного множества, и выдается выход сети, который преобразуется в рекомендацию пользователю.

При анализе риска повышения волатильности анализируются полученные события экономического календаря за период от 3 ч до 1 дня, в зависимости от выбранного временного интервала анализа (15 минут, 1 час, 1 день). Анализируются события по степени важности средние и важные на наличие ключевых стран и слов, например, множество ключевых слов для события, относящегося к финансовому инструменту акции «Роснефть»  $KeyWords_{fl} = \{\text{«нефт»}, \text{«топлив»}, \text{«дистиллят»}, \text{«мазут»}\}$ , а страны  $CountryList = \{\text{Америка}, \text{Россия}, \text{Великобритания}, \text{Франция}, \text{Германия}\}$ . При наличии важных и средних событий появляется риск повышения волатильности, что сообщает система в одном из своих выходов.

Если рассматривать пользователя, как актора (*actor*) в системе, ему необходимо предоставить возможности выбирать из списка финансовый инструмент, период, задавать ожидаемую прибыль – на основе этих параметров осуществляется работа основной функции системы «анализ и преобразование данных для выдачи рекомендации». Также для удобства работы пользователю необходимо предоставить следующие возможности: просматривать графики цен и технических индикаторов, просматривать новости из экономического календаря, оценивать работу системы, просматривать отчеты о работе системы. Оценки работы системы, выставляемые пользователем, сохраняются в базу данных вместе со структурой подобранных весов нейросети в момент выдачи рекомендации. Сохраненные структуры весов нейросети для пар финансового инструмента и периода с лучшими оценками, могут быть использованы при последующем использовании сети для первоначальной инициации весов.

**В четвертой главе** рассмотрены аналогичные системы и методы нейросетевого прогнозирования на финансовых рынках. Приведены примеры использования системы (см. рисунок б) и результаты проверки ее работоспособности.

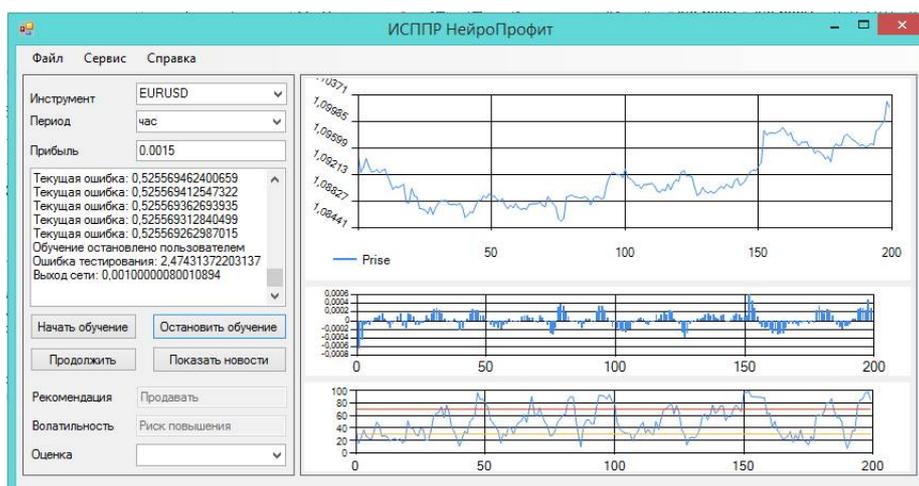


Рисунок 6 – Пример функционирования ИСППР «НейроПрофит»

В процессе проверки работоспособности системы, были выявлены следующие сложности: 1) Продолжительность обучения по стандартному алгоритму обратного распространения ошибки была не удовлетворительной для реальной работы пользователей с системой. 2) При обучении возникали ситуации, когда ошибка обучения долгое время оставалась практически на одинаковом уровне, то есть изменение весов при такой ситуации было минимальным, что значительно замедляло обучение нейронной сети.

Для решения первой проблемы была проанализирована зависимость шагом коррекции весов, продолжительностью обучения и ошибки тестирования. Под шагом коррекции весов ( $g$ ) понимается дополнительный коэффициент для ускорения нахождения траектории минимизации в алгоритме обратного распространения ошибки при итерационном изменении весов:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) - g \cdot h \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (7).$$

Таблица 3 – Результаты исследования шага коррекции весов и продолжительности обучения и ошибки тестирования

Скорость обучения	Средняя ошибка	Средняя продолжительность обучения *
1	3,1	2,6 мин
16	3,3	0,9 мин
40	4,1	2,1 мин

\* – из результатов эксперимента убраны случаи продолжительного заикливания алгоритма вблизи локального минимума.

Из таблицы 3 видно, что по мере увеличения скорости обучения, уменьшается продолжительность обучения и ошибка тестирования, но до определенных пределов. При повышенной скорости обучения сеть довольно быстро находит верное направление минимизации до ошибки обучения величиной 1,02.

Вторая проблема, периодически возникающая в процессе обучения, связана с заикливанием алгоритма обучения при довольно малых изменениях ошибки. При попадании в точки локальных минимумов ( $X_l$ ) алгоритм двигается в его направлении, не снижая ошибки обучения до предельного уровня, так как она может быть достигнута в другом локальном или глобальном минимуме ( $X'$ ) (см. рисунок 7).

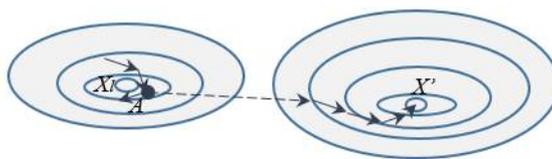


Рисунок 7 – Заикливание при обучении сети вокруг локального минимума. Внесена модификации в алгоритм: добавлен элемент стохастического обучения. При достижении более 200 шагов алгоритма с изменениями ошибки обучения менее 0,00001, поочередно вносим правки в веса первого слоя перед обучением на очередной паре входных и выходных данных (из точки А алгоритм постепенно передвигается в область другой точки минимума). Результаты применения в таблице 4.

$$w_{cr}(t) = w_{cr}(t) + 0,1 * h \quad (8),$$

где  $c, r$  – номера координат веса, сдвигаемого перед одной итерацией обучения.

Таблица 4 – Сравнение обучения алгоритмом обратного распространения ошибок без и с применением стохастического сдвига по одному из весов

Коэффициент сдвига веса	Средняя продолжительность обучения*	Средняя ошибка тестирования
-	4,6 мин	3,7
0,1	3,1 мин	3,5

\* – в случае попадания при обучении алгоритма в описанную ситуацию.

После решения описанных проблем средняя скорость обучения при первично не заданной структуре весов сети составила 1,2 мин. Для повышения данного показателя в ИСППР предусмотрена возможность сохранения структуры весов для определенного финансового инструмента и временного периода, что позволяет ускорить обучение сети при повторном использовании структуры до 0,6 мин.

Тестовая эксплуатация ИСППР заключалась в использовании на реальных данных по котировкам финансовых инструментов (валютные пары, акции, фьючерсы). Проведено экспериментальное использование системы на выборке из 90 примеров (результаты в таб. 5). По результатам экспериментального исследования работоспособности ИСППР «НейроПрофит», основанной на методике нейросетевой классификации, процент достоверно распознанных ситуаций составляет 83%.

Таблица 5 – Критерии результатов экспериментального исследования

Критерий	Результат
Процент верных рекомендаций по покупке от общего в данном направлении	90%
Процент верных рекомендаций по продаже от общего в данном направлении	83%
Процент достижения ожидаемой пользователем прибыли	137,7%

Для сравнения наиболее близкий аналог метода анализа финансовых рынков с использованием нейронных сетей, на которых строятся СППР трейдеров, является метод «окон». Суть метода заключается в формировании прогнозной функции на основе многослойного перцептрона, на входы которого подаются  $N-1$  предыдущих значений временного ряда цен финансового инструмента, на выходе выдается прогноз цены на период  $N+M$ . Системы, построенные на основе данного подхода, дают максимальное количество верно спрогнозированных значений будущих цен до 74,5%. А при прогнозировании многослойным перцептроном знака доходности ряда финансового инструмента в следующем периоде процент правильного прогноза не поднимается выше 58%. Подтверждается достижение цели исследования – повышение достоверности выдаваемых рекомендаций по сравнению с существующими аналогами интеллектуальной системой поддержки принятия решений трейдеров.

В **заключении** приведены основные результаты проведенного теоретического и экспериментального исследования.

В **приложении** приведены свидетельства о регистрации и исходные коды программы для ЭВМ, акт внедрения результатов диссертационного исследования.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

Проведенные в рамках диссертационного исследования работы позволили ответить на поставленные вопросы, соответствуют научной задаче, цели и задачам исследования. Получены следующие результаты и выводы:

1. Финансовые рынки являются примером социально-экономических систем, к которым может быть применена теория управления организационными системами. Анализ рынков требует многостороннего подхода, в котором должны быть задействованы как инструменты технического, фундаментального анализа, экономико-математического подхода, так и инструменты современного интеллектуального анализа данных. Разработанные методика и алгоритм анализа финансовых рынков, отвечает данным требованиям.

2. Одним из эффективных методов, на котором строятся современные интеллектуальные системы поддержки принятия решений являются нейронные сети. Для целей классификации рыночных ситуаций подходящей является многослойный перцептрон. При разработке архитектуры нейронной сети необходимо учитывать взаимную обусловленность функций распределения отбираемых критериев, и минимизировать количество нейронов входного слоя на основе теории нейронных сетей.

3. Разработан метод генерации выходной выборки для задачи нейросетевой классификации, учитывающий ожидаемую прибыль и повышение волатильности. Метод позволяет исключить влияние на эффективность обучения нейросети квалификации эксперта и учесть риск повышения волатильности, связанный с влиянием макроэкономических показателей и новостей.

4. В результате проделанных исследований разработана комбинированная методика поддержки принятия решений трейдера по направлению сделки с финансовым инструментом и алгоритм ее реализации в системах поддержки принятия решений. Методика заключается в нейросетевой классификации ситуаций на финансовых рынках, в основу которой входит использование модели GARCH, индикаторов технического анализа RSI, MACD, интеграция полученных данных и обучение нейросети с учетом повышения волатильности за счет реакции на экономические события. Сформированные методика и ее алгоритм позволяют проводить анализ многокритериальной информации о текущем состоянии рынка выбранного финансового инструмента, и повышает точность классификации ситуаций на его рынке на 8,5% по сравнению с близким аналогичным алгоритмом нейросетевого анализа финансовых временных рядов.

5. Разработанный алгоритм нейросетевой классификации рыночных ситуаций стал основой проектирования и реализации интеллектуальной системы поддержки принятия решений, которая может использоваться при реальной торговле на финансовых рынках профессиональными трейдерами. Разработанный программный продукт «НейроПрофит» обеспечивает трейдера рекомендацией по покупке-продаже финансовых инструментов с достоверностью в 83%. При использовании ИСППР «НейроПрофит» трейдер может получать до 137% ожидаемой от сделки, открытой по рекомендации системы, прибыли.

### Публикации по теме диссертации

*Статьи, опубликованные в журналах из списка ВАК*

1. *Николаева Ю.В.* Критерии выбора архитектуры нейронной сети для прогнозирования финансовых рынков [Текст] / Ю.В. Николаева // Вестник Ижевского государственного технического университета. - 2015. - № 1. – С. 96-97.
2. *Николаева Ю.В.* Математическая постановка задачи обучения многослойного перцептрона с точки зрения классической оптимизации [Текст] / Ю.В. Николаева // Вестник Ижевского Государственного технического университета. – 2016. - № 1. – С. 60 -63.
3. *Николаева Ю.В., Сучкова Е.А.* Применение Data Mining в нефтегазовой отрасли [Текст] / Ю.В. Николаева // Вестник Ижевского государственного технического университета. - 2016. - № 3. – С. 63-65.
4. *Сучкова Е.А., Николаева Ю.В.* Разработка оптимальной структуры хранения данных для систем поддержки принятия решений [Электронный ресурс] / Е.А. Сучкова, Ю.В. Николаева // Кибернетика и программирование. - 2016. - № 4. – С. 58-64. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.4.18281. Режим доступа: [http://enotabene.ru/kp/article\\_18281.html](http://enotabene.ru/kp/article_18281.html).
5. *Николаева Ю.В.* Математическая постановка задачи обучения многослойного перцептрона для классификации рыночных ситуаций [Текст] / Ю.В. Николаева // Интеллектуальные системы в производстве. - 2016. - № 3. – С. 10-12.
6. *Николаева Ю.В.* Методика нейросетевой классификации ситуаций на финансовых рынках и ее реализация в ИСППР [Текст] / Ю.В. Николаева // Интеллектуальные системы в производстве. - 2017. - №2. – С. 113-116.
7. *Николаева Ю.В.* Метод генерации выходной выборки для задачи нейросетевой классификации рыночных ситуаций [Текст] / Ю.В. Николаева // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2017. Т. 21. - №12. – С. 86-92. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-12-86-92.

#### *Другие издания*

8. *Николаева Ю.В., Лялин В.Е.* Индекс относительной силы для прогнозирования смены тренда [Текст] / Ю.В. Николаева [и др.] // Математические модели и информационные технологии в организации производства. - 2010. - №1. – С. 168-184.
9. *Николаева Ю.В.* Нормировка данных для нейронных сетей [Текст] / Ю.В. Николаева // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сб. тр. науч.- техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых (Ижевск, 15-18 марта 2011 года). В 3 т. Т.1. - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2011. – С. 210-217.
10. *Nikolaeva J.V.* The neural networks. The multilayer perceptron [Текст] / *J.V. Nikolaeva* // Communication of Students, Master Students and Post-Graduates in Academic, Professional and Scientific Fields (Ижевск, 27 апреля-3 мая 2011 г.): материалы межвуз. студ. науч. конф. - 2011. – С. 38-41.
11. *Николаева Ю.В.* Распознавание кризисных паттернов в котировках фьючерсов на нефть сорта Brent [Электронный ресурс] / Ю.В. Николаева // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск, 22-23 апреля 2015 года /

ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. - 2015. – С. 673-679.

12. *Николаева Ю.В.* Методы нейросетевой классификации ситуаций на финансовых рынках относительно ожидаемой прибыли [Электронный ресурс] / Ю.В. Николаева // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск, 20-21 апреля 2016 года. - Ижевск: ИННОВА, 2016. – С. 562-566. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

13. *Николаева Ю.В.* Исследование влияния событий экономического календаря на волатильность котировок EURUSD [Текст] / Ю. В. Николаева// Международное научное периодическое издание «Новая наука: от идеи к результату» по итогам международной научно–практической конференции (Сургут, 22.10.2016 г.) / в 3 ч. Ч.3. – Стерлитамак: АМИ, 2016. – С. 76-80.

14. *Николаева Ю.В.* Проектирование интеллектуальной системы поддержки принятия решений трейдеров на финансовых рынках [Текст] / Ю.В. Николаева // Новая наука: стратегии и векторы развития, часть 1, (Магнитогорск, 08.05.2017 г.). Стерлитамак: АМИ, 2017. – №5 – С. 75-79.

15. *Николаева Ю.В.* Модификация алгоритма обратного распространения ошибок для обучения нейросетевого классификатора для финансовых рынков [Текст] / Ю.В. Николаева // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Научные революции: сущность и роль в развитии науки и техники» (Пермь, 08.05.2017 г.). – Уфа: Омега сайнс, 2017. – С. 73-78.

*Авторские свидетельства*

16. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2016661369 / Ю.В. Николаева, заявка № 2016618968, дата поступления 22.08.2016, дата регистрации 07.10.2016.

17. Свидетельство о регистрации баз данных № 2016621361 / Ю.В. Николаева, заявка № 2016621147, дата поступления 22.08.2016, дата регистрации 07.10.2016.

В авторской редакции

Подписано в печать \_\_.\_\_.2018. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_.

Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ. 426069, Ижевск, Студенческая, 7