

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

УДК 3363.761:004.032.26

*На правах рукописи*

ШЕЛЕСТ  
Анна Вадимовна

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОНДОВОГО РЫНКА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени  
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 Компьютерные технологии  
проектирования электронных систем

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **АЛЕКСЕЕВ Виктор Федорович**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **БОНДАРИК Василий Михайлович**,  
кандидат технических наук, доцент  
декан факультета доуниверситетской подготовки и профессиональной ориентации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «26» июня 2018г. года в 13<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

Управление капиталом на современном рынке во многом зависит от оперативности и качества управленческих решений, которые принимаются в условиях постоянно растущей конкуренции, временных ограничений и недостаточности информации. Отсюда возникает огромный интерес к информационным технологиям, позволяющим повысить качество, сократить время и снизить трудоемкость принятия управленческих решений.

На текущий момент, наиболее актуальным течением использования современных информационных технологий в сфере финансов является автоматизация процессов анализа и прогнозирования поведения финансовых рынков и их участников. Решение задач такого типа представляет собой сложный процесс не только с точки зрения трудоемкости, но и потому, что в результате получается ответ, который носит вероятный характер. Статистические и эконометрические методы, которые чаще всего используются в прогнозировании финансовых временных рядов, сегодня больше не дают такого действенного результата по причине мировой интеграции и унификации различных отраслей.

Основной проблемой, по которой традиционные методы прогнозирования будущих значений финансовых временных рядов больше не дают достоверного предсказания, является наличие множества внешних факторов и связей между этими факторами. Регрессионные уравнения не способны дать достоверный прогноз, если функция содержит более десяти переменных, вследствие наличия взаимной ковариации переменных и прочих факторов. Также стоит учитывать значительное влияние качественных факторов на показатели модели. Все это в совокупности приводит к тому, что необходимо разрабатывать новые подходы к процессу автоматизации прогнозирования.

Наибольший интерес в данном случае вызывает использование технологий искусственного интеллекта (ИИ). На сегодняшний день в решении трудноформализуемых задач все чаще начинают применять искусственные нейронные сети (ИНС), которые позволяют преодолеть узкие места, возникающие при использовании классических методов.

ИНС показывают более эффективные результаты, однако, факт их применения в сфере прогнозирования, анализа и обработки финансовой информации пока не изучен должным образом ни у нас в стране, ни за рубежом.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность исследования**

Актуальным направлением применения информационных технологий в финансовой сфере является автоматизация процессов анализа и прогнозирования поведения финансовых рынков. В виду множества факторов, оказывающих влияние на прогноз, и такого же числа взаимосвязей между этими факторами, регрессионные уравнения, представляющие собой классический подход к прогнозированию, не способны дать нужный результат. Направлением ИТ, способным решить данную задачу, являются нейронные сети, обладающие рядом уникальных свойств и позволяющие преодолеть трудности, которые возникают при практическом применении классических методов.

Все вышесказанное определяет актуальность исследования, а также его цели и задачи.

### **Степень разработанности проблемы**

Комплексному изучению проблем моделирования прогноза финансовых показателей фондового рынка посвятили свои исследования авторы: Г. Марковитц, У. Ф. Шарп, Б. Вильяме, Р. Колби, Г. Дж. Александер, Дж. В. Бэйли, Д. Мерфи, А. Г. Аганбегян, Л. В. Канторович, В. А. Кардаш, С. А. Айвазян, В. В. Ковалев, Ф. М. Левшин, В. С. Лукинский, А. Е. Викуленко.

Существенный вклад в развитие нейросетевого моделирования внесли ученые У. Мак-Каллок, У. Питтс, Д-Хебб, Ф. Розенблат, Б. Уидроу, М. Л. Минский, Дж. Вербос, А. И. Галушкин, Фукусима, Д. Хопфилд, Т. Кохонен, И. Дэвид Румельхарт, Дж. Е. Хинтон, Рональд Дж. Вильяме, С. И. Барцев, В. А. Охонин.

Следует подчеркнуть, что труды указанных авторов посвящены фундаментальным проблемам. Но множество прикладных вопросов моделирования прогноза значений котировок ценных бумаг требуют теоретических разработок или дальнейшего совершенствования; особенно в условиях развития новых компьютерных технологий прогнозирования.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является улучшение методик применения нейронных сетей в решении задач прогнозирования показателей фондового рынка.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих моделей и методов прогнозирования и обосновать возможности применения методологии моделирования на базе нейронных сетей.

2. Построить нейросетевую модель прогноза значений котировок ценных бумаг с учетом ретроспективных значений обучающей выборки.

3. Проверить работоспособность и адекватность методики прогнозирования на базе нейронной сети.

## **Область исследования**

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 81 01-2012 специальности 1-39 81 01 Компьютерные технологии проектирования электронных систем.

## **Теоретические и методологические основы исследования.**

Базис диссертации составляют научные труды современных российских и зарубежных ученых по применению нейросетевого моделирования в экономике, вопросам математического и технического прогнозирования рынка, статистического и фрактального анализа временных рядов.

## **Научная новизна**

*Научная новизна* диссертационного исследования состоит в разработке усовершенствованной методики прогнозирования показателей фондового рынка с применением методов технического анализа и аппарата нейронных сетей.

*Теоретическая значимость* работы заключается в демонстрации несостоятельности традиционных методов и моделей для прогнозирования будущих значений финансовых временных рядов.

*Практическая значимость* работы состоит в том, что нейросетевые методы прогнозирования в действительности могут быть использованы для работы на фондовых рынках.

## **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Систематизация методов и моделей прогнозирования финансовых временных рядов позволила более детально исследовать факторы, влияющие на качество прогноза, и сравнить существующие методы предсказания значений временного ряда.

2. Модель прогнозирования значений цен активов, полученная в результате исследования, позволяет получить значения будущих периодов на определенный временной промежуток в будущем.

3. Экспериментально полученные данные в ходе проведения исследования позволяют сделать вывод о целесообразности использования нейронных сетей в задачах прогнозирования финансовых временных рядов.

## **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 54-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск, Беларусь, 2018 г.).

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при преподавании дисциплин «Технологии программирования».

## Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 2 печатных работах и 4 электронных публикациях.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 12 страниц.

## Структура работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений. Содержит рисунки и таблицы.

**В первой главе** приведен обзор методов и моделей, использующихся при прогнозировании финансовых временных рядов, принципы работы и архитектура фондового рынка, а также проанализированы возможности разработки новых способов предсказания значений финансового временного ряда.

**Во второй главе** демонстрируется разработанная методика моделирования значений финансового временного ряда с использованием аппарата искусственных нейронных сетей.

**В третьей главе** представлен эксперимент по подтверждению адекватности разработанной методики на примере прогнозирования значений котировок.

**В приложении** представлены публикации автора и акт внедрения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** представлено текущее состояние проблемы прогнозирования показателей фондового рынка при помощи аппарат искусственных нейронных сетей, а также обоснована актуальность выбранной темы.

**В первой главе** представлено исследование литературных источников по выбранной теме, а также рассмотрена возможность разработки новых методов прогнозирования финансовых временных рядов.

Исследован финансовый и фондовый рынки, в частности структура рынка ценных бумаг (рисунок 1):

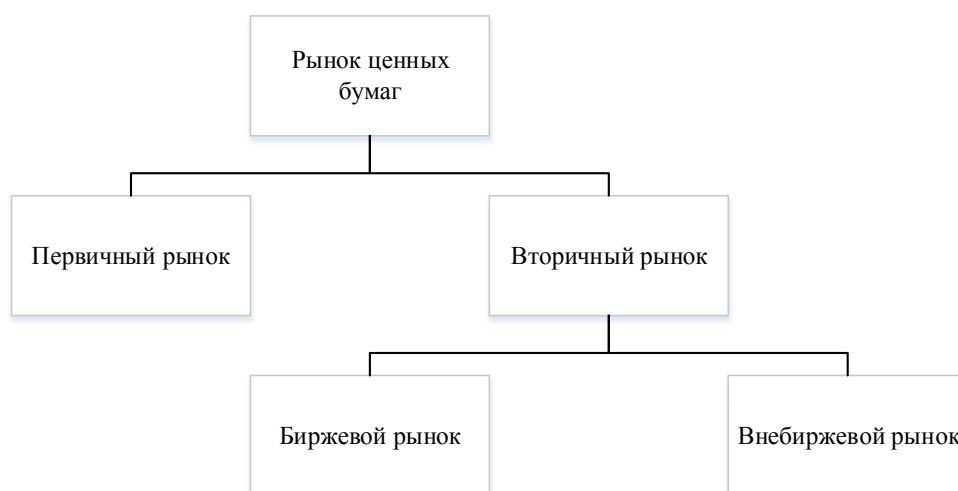


Рисунок 1 – Структура рынка ценных бумаг

Описаны наиболее часто используемые методы прогнозирования финансовых временных рядов.

Исходя из анализа, можно заключить, что построение абсолютно точной модели прогнозирования будущих значений временного ряда невозможно из-за неосуществимости учета влияния всего множества факторов и корреляции между ними на результат прогноза. Однако, возможно построить модель, имеющую приемлемую ошибку прогноза, которая, в свою очередь, оказывает незначительное влияние на конечный результат прогнозирования.

Во **второй главе** обоснована важность проведения исследований в области нейросетевого прогнозирования котировок ценных бумаг. Обосновано применение нейронных сетей при прогнозировании будущих значений временного ряда. Рассмотрены различные типы нейронных сетей. Сформулирована методология нейросетевого моделирования.

Предложена модель прогнозирования временного ряда на основании нейронной сети типа многослойный перцептрон, архитектура которой представлена на рисунке 2.

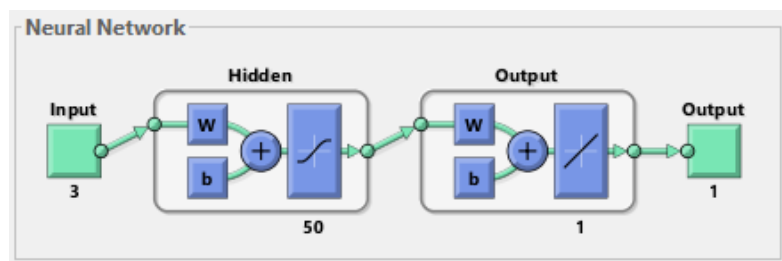


Рисунок 2 – Схема структуры нейронной сети

На основании представленной сети возможно прогнозирование значений временного ряда

Сеть состоит из трех слоев с 50 скрытыми нейронами, что увеличивает точность прогноза, но снижает скорость обучения сети. В качестве алгоритма обучения был выбран алгоритм Левенберга-Марквардта. Он основан на одной из версий Метода Гаусса-Ньютона:

$$(J^T J + \mu I)d = -J^T r, \mu \geq 0$$

где  $\mu$  – параметр регулязации. Иногда  $I$  заменяют на  $diag(J^T J)$  для улучшения сходимости.

Диагональные элементы  $J^T J$  будут положительны, так как элемент  $a_{ii}$  матрицы  $J^T J$  является скалярным произведением вектора-строки  $i$  в  $J^T$  на самого себя.

Для больших  $\mu$  получается метод наискорейшего спуска, для маленьких – метод Ньютона.

Сам алгоритм в процессе оптимизации подбирает нужный  $\mu$  на основе *gain ratio*, определяющийся как:

$$g = \frac{F(x) - F(x_{new})}{L(0) - L(d)}$$

Если  $g > 0$ , то  $L(d)$  – аппроксимация для  $F(x+d)$ , иначе – нужно увеличить  $\mu$ .

Начальное значение  $\mu$  задаётся как  $\tau \cdot \max\{a_{ij}\}$ , где  $a_{ij}$  – элементы матрицы  $J^T J$ .

$\tau$  рекомендовано назначать меньшим за  $10^{-3}$ . Критерием остановки является достижение глобального минимума, то есть  $F'(x^*) = g(x^*) = 0$

Однако, несмотря на большое количество нейронов, использование неподготовленных данных не позволяет сделать точный, по причине высокого значения ошибки прогнозирования. Поэтому вначале производится масштабирование данных по следующему алгоритму:

1. находится минимальное *Max* и максимальное *Min* значение для каждого столбца значений параметра;
2. в качестве величины смещения *B* принимается минимальное значение *Min*;
3. вычисляется коэффициент масштабирования *K* по формуле:

$$K = \frac{1}{Max - Min}$$

где *Max* и *Min* – максимальное и минимальное значения ряда соответственно.

4. рассчитываются значения масштабированного ряда по формуле:

$$time\_series\_new = (time\_series\_old - B) * K$$

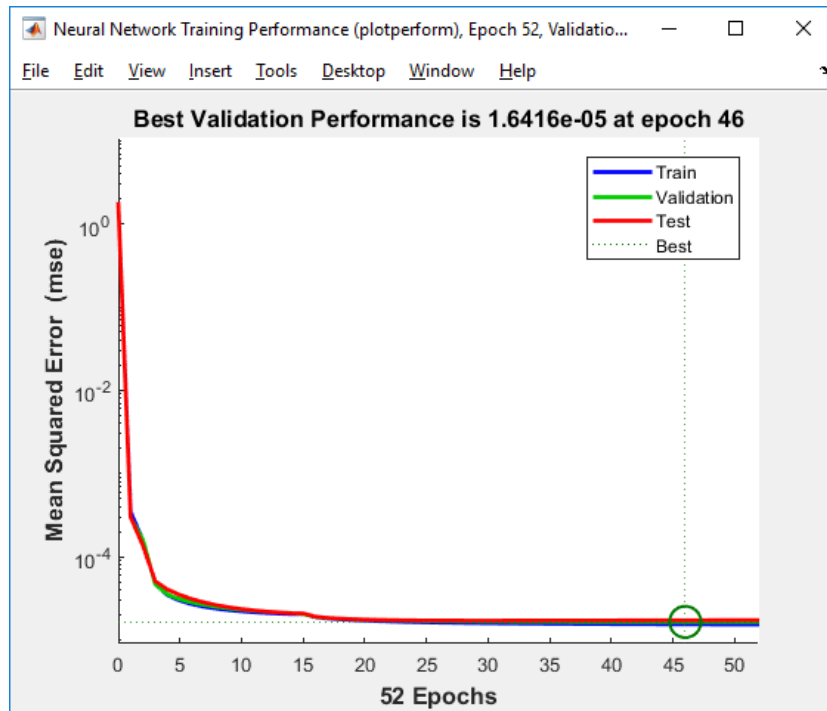
После проведения масштабирования начинается процесс построения нейронной сети и настройка её параметров. В качестве прикладного инструмента для создания сети и ее проверки был выбран пакет прикладных программ *Matlab*. С использованием командного интерфейса данного пакета была построена и обучена нейронная сеть, указанная выше.

В **третьей главе** представлен эксперимент по подтверждению адекватности разработанной модели посредством прогнозирования значений временного ряда курса акций американской компании AON.

В ходе проведения обучения нейронной сети были получены следующие результаты:

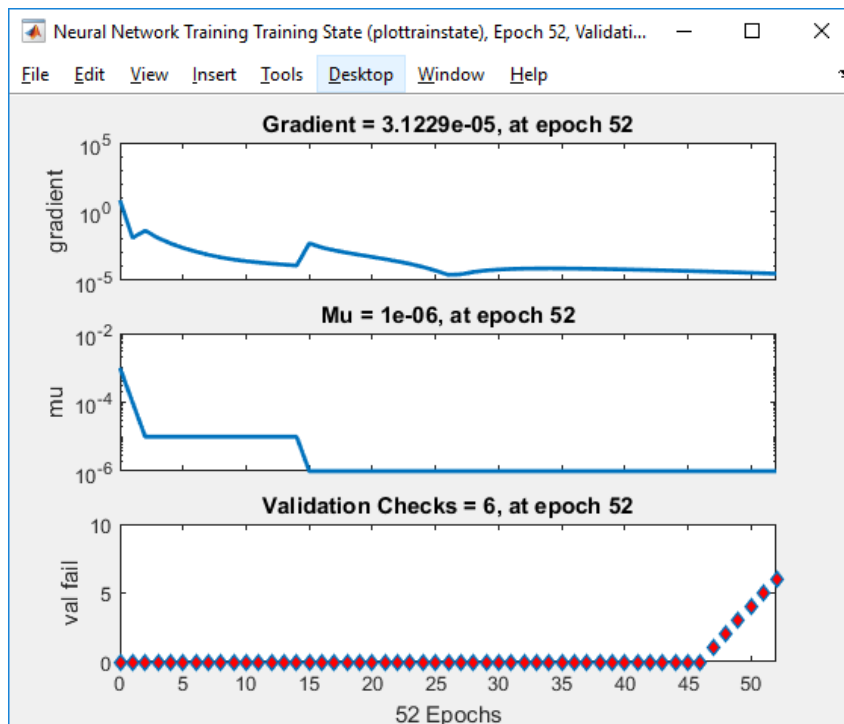
- обучение в среднем длилось 5 секунд;
- количество эпох обучения в среднем равно 45-50;
- среднеквадратичная ошибка имеет порядок ниже  $10^{-4}$  (рисунок 3).





**Рисунок 3 – График зависимости среднеквадратичной ошибки от эпохи обучения**

Параметры обучения сети представлены на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Параметры обучения сети**

Гистограмма распределения ошибки представлена на рисунке 5.

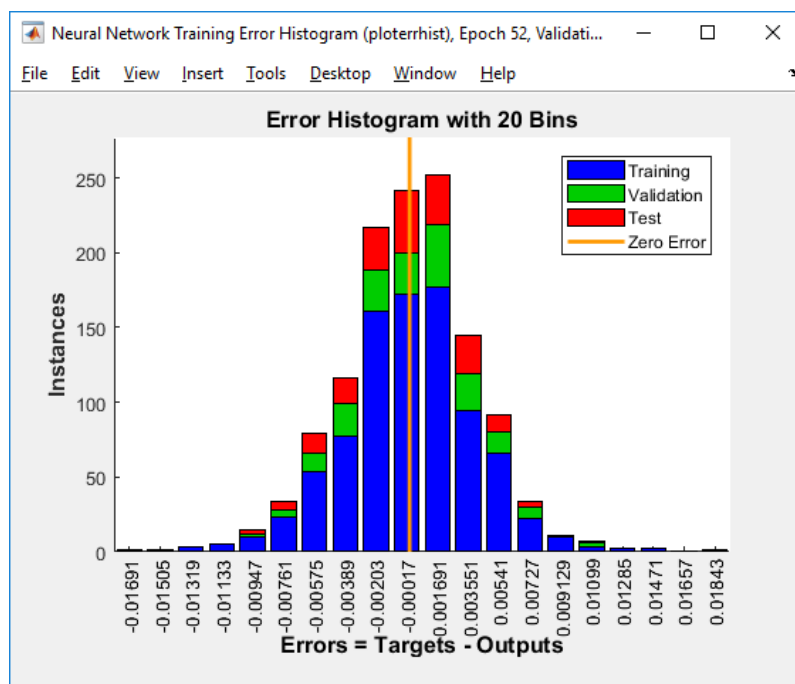


Рисунок 5 – Гистограмма распределения ошибки

Способности сети к обобщению представлены на рисунках 6 и 7.

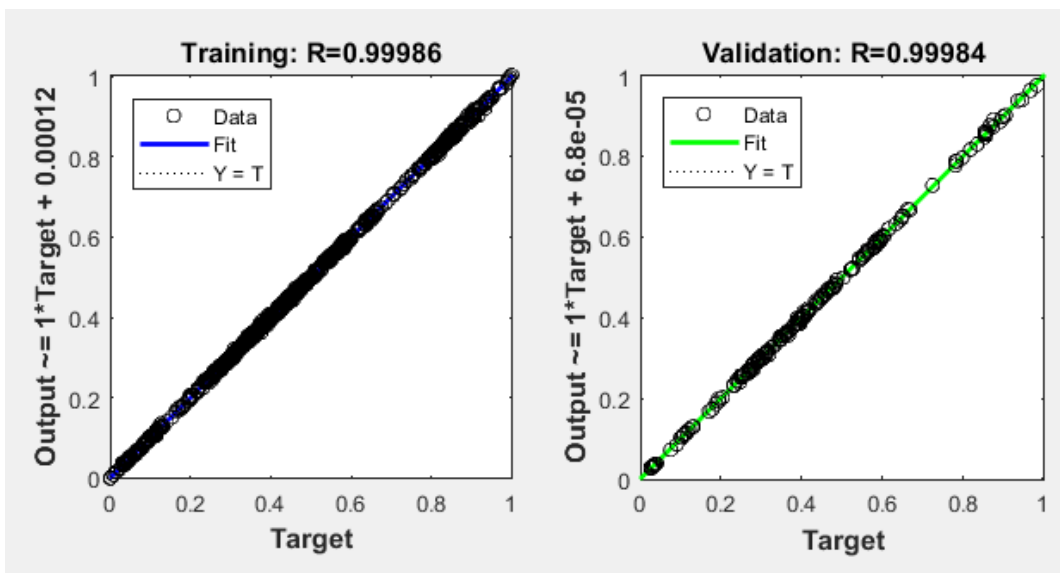
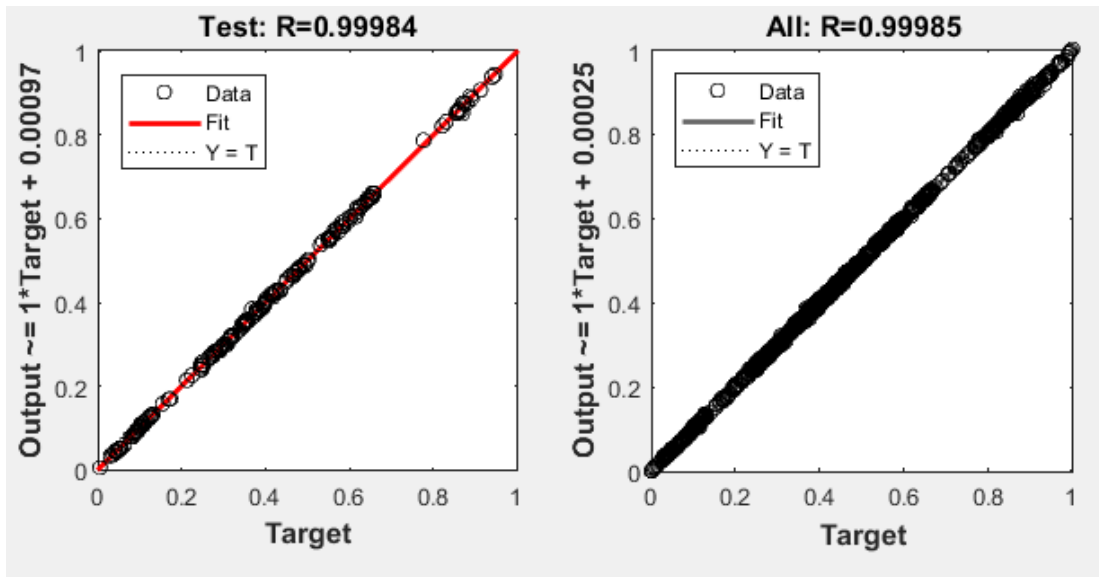
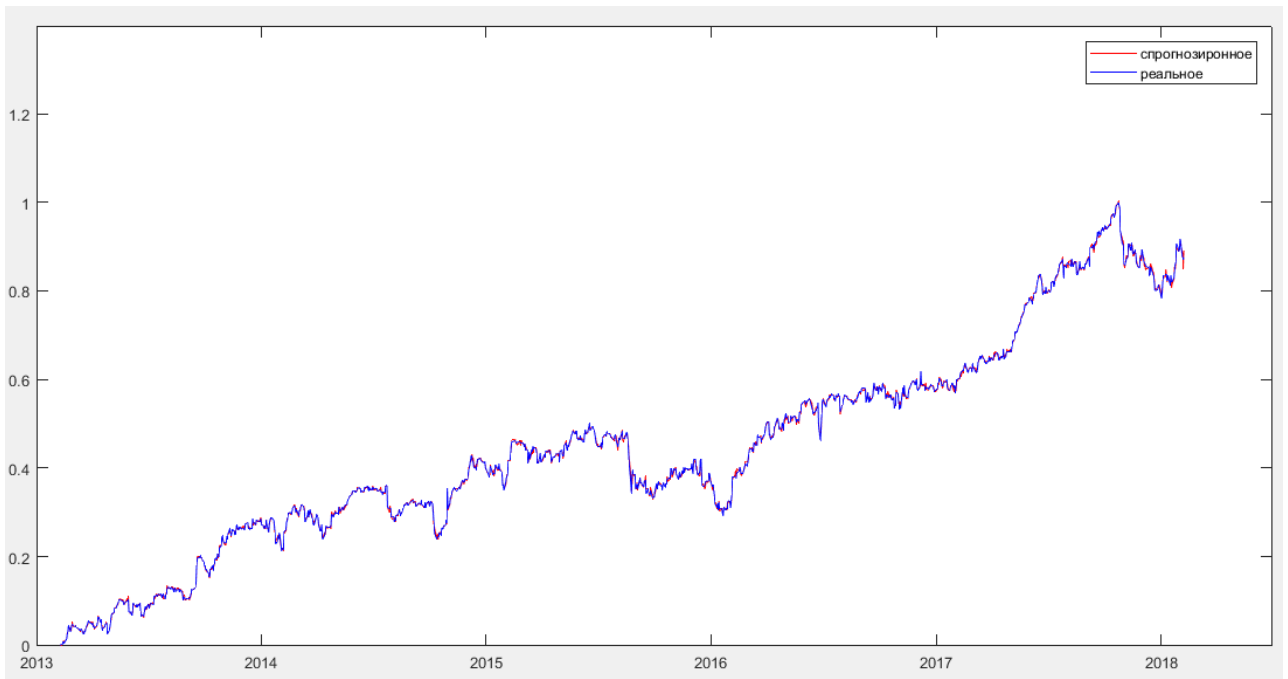


Рисунок 6 – Способности нейронной сети к обобщению (выборки тренировочная и валидационная)

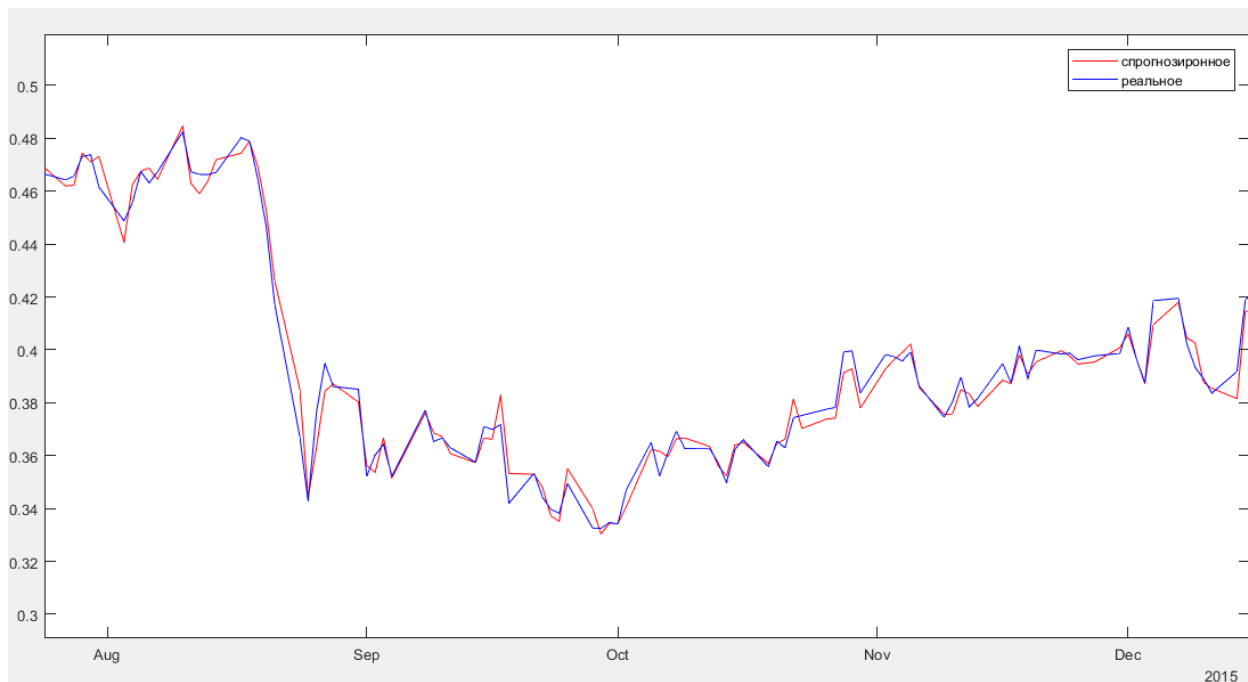


**Рисунок 7 – Способности нейронной сети к обобщению (тестовая выборка и совокупная)**

Результаты прогнозирования значений полученной сетью представлены на рисунках 8 и 9.



**Рисунок 8 – Значения, спрогнозированные сетью**



**Рисунок 9 – Значения, спрогнозированные сетью (детальное представление)**

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Выполнен анализ существующих методов прогнозирования временных рядов. Выявлено, что в настоящее время в отечественных и зарубежных источниках недостаточно освещен вопрос прогнозирования будущих значений временного ряда с использованием аппарата искусственных нейронных сетей.

2. На основании анализа литературных источников разработана нейронная сеть для прогнозирования значений нелинейного временного ряда с архитектурой многослойный перцептрон и методом обратного распространения ошибки для обновления весов.

3. В результате разработки и проверки на адекватность нейросетевой модели экспериментально доказана возможность прогнозирования финансовых временных рядов с использованием аппарата искусственных нейронных сетей, что позволяет увеличить точность прогноза и повысить скорость его формирования.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Технологии программирования».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### *Статьи в электронных публикациях*

1. Шелест, А. В. Архитектура и типы нейронных сетей/ А. В. Шелест, К. А. Пархоменко // Электронный депозитарий изданий БГУИР. – 2018. – ISSN 2410-4655.
2. Шелест, А. В. Нейронные сети в экономико-математическом моделировании / А. В. Шелест, К. А. Пархоменко // Электронный депозитарий изданий БГУИР. – 2018. – ISSN 2410-4655.
3. Пархоменко, К.А. Виды искомой структуры в кластерном анализе/ К. А. Пархоменко, А. В. Шелест // Электронный депозитарий изданий БГУИР. – 2018. – ISSN 2410-4655.
4. Пархоменко, К.А. Типы данных в кластерном анализе/ К. А. Пархоменко, А. В. Шелест // Электронный депозитарий изданий БГУИР. – 2018. – ISSN 2410-4655.

### *Тезисы конференций*

5. Шелест, А.В. Обзор методов и моделей прогнозирования временных рядов / А.В. Шелест, К.А. Пархоменко // материалы 54-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 23–27 апреля 2018 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2018. – С.112–113.
6. Пархоменко, К.А. Исследование методов машинного обучения в задачах принятия управленческих решений / К.А. Пархоменко, А.В. Шелест // материалы 54-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, Респ. Беларусь, 23–27 апреля 2018 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2018. – С.91–92.

## РЭЗІЮМЭ

Шэлест Ганна Вадзімаўна

### Прагназаванне паказчыкаў фондавага рынку з выкарыстаннем штучнай нейроннай сеткі

**Ключавыя словы:** прагназаванне, часовы шэраг, нейронная сетка.

**Мэта працы:** павышэнне якасці прагнозу паводзін фінансавага часовага шэрагу за кошт паляпшэння метадык прымянення нейронных сетак у вырашэнні задач прагназавання паказчыкаў фондавага рынку.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** выкананы аналіз існуючых метадаў прагназавання часавых шэрагаў. Выяўлена, што ў цяперашні час прымяненне традыцыйных метадаў прагназавання фінансавых часавых шэрагаў з'яўляецца неэфектыўным з прычыны павялічэння колькасці знешніх фактараў, якія аказваюць уплыў на рэзультат прагназавання, і недасканаласці існуючых метадык; на падставе выяўленых недахопаў была распрацавана метадыка прагназавання трэнду, якая дазваляе павялічыць якасць прагнознай мадэлі; у выніку праграмнай рэалізацыі мадэлі зніжана значэнне памылкі прагназавання, што дазваляе выкарыставаць дадзеную мадэль на практыцы пры прыняцці рашэнняў у сферы капітанукладанняў.

**Ступень выкарыстання:** вынікі ўкаранены ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» ў навучальны курс «Тэхналогіі праграмавання».

**Вобласць ужывання:** фондавы рынак, трэйдзінг, прагназаванне часавых шэрагаў.

## РЕЗЮМЕ

Шелест Анна Вадимовна

### Прогнозирование показателей фондового рынка с использованием искусственной нейронной сети

**Ключевые слова:** прогнозирование, временной ряд, нейронная сеть.

**Цель работы:** повышение качества прогноза поведения финансового временного ряда за счет улучшения методик применения нейронных сетей в решении задач прогнозирования показателей фондового рынка.

**Полученные результаты и их новизна:** выполнен анализ существующих методов прогнозирования временных рядов. Выявлено, что в настоящее время применение традиционных методов прогнозирования финансовых временных рядов является неэффективным ввиду увеличения числа внешних факторов, оказывающих влияние на результат прогнозирования, и несовершенства существующих методик; на основании выявленных недостатков была разработана методика прогнозирования тренда, позволяющая увеличить качество прогнозной модели; в результате программной реализации модели снижено значение ошибки прогнозирования, что позволяет использовать данную модель на практике при принятии решений в сфере капиталовложений.

**Степень использования:** результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Технологии программирования».

**Область применения:** фондовый рынок, трейдинг, прогнозирование временных рядов.

## SUMMARY

**Shelest Hanna Vadzimovna**

### **Forecasting indicators of the stock market using an artificial neural network**

**Keywords:** electrostatic discharge model.

**The object of study:** improving the quality of forecasting the behavior of the financial time series by improving the methods of using neural networks in solving problems of forecasting the indicators of the stock market.

**The results and novelty:** the analysis of existing methods of forecasting time series is carried out. It is revealed that at present, the use of traditional methods of forecasting financial time series is ineffective due to the increase in the number of external factors affecting the result of forecasting and the imperfection of existing methods; Based on the identified shortcomings, a trend forecasting technique was developed that allows to increase the quality of the forecast model; as a result of the software implementation of the model, the value of the forecast error is reduced, which makes it possible to use this model in practice when making decisions in the sphere of capital investments.

**Degree of use:** the results implemented in the educational process at the department of design information and computer systems educational institution «Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics» in the training course «Technologies of programming».

**Sphere of application:** stock market, trading, forecasting time series.