

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 004.9

СУЛАЙМАН  
ХАЛЕД МАНСИ

**АЛГОРИТМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
РЕШЕНИЙ НА ФОНДОВЫХ И ВАЛЮТНЫХ РЫНКАХ  
(НА ПРИМЕРЕ РЫНКА FOREX)**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление  
и обработка информации

Минск, 2015

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Рыбак Виктор Александрович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
директор РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Официальные оппоненты: **Железняк Владимир Кириллович**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой радиоэлектроники  
Полоцкого государственного университета;

**Одинец Дмитрий Николаевич**,  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры ЭВМ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

Оппонирующая организация **Белорусский государственный университет**

Защита состоится «25» июня 2015 г. в 15<sup>00</sup> на заседании совета по защите диссертаций К 02.05.01 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, в зале заседаний ученого совета, e-mail: gurski2010@gmail.ru, тел. 8(017)2939564.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «18» мая 2015 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций К 02.05.01,  
кандидат технических наук, доцент



Н.Н. Гурский

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Международный валютный рынок Forex существует уже более 35 лет, ежедневный оборот на нём превышает 4 трлн. долларов США. Вместе с тем стратегии и тактики прибыльной работы на данном рынке меняются довольно часто.

Развитие современных вычислительных средств и программного обеспечения позволяет использовать новейшие информационные технологии для повышения качества работы участников торгов (трейдеров) и снижения субъективизма в принятии решений.

Существующие на сегодняшний день механические торговые системы (МТС – автоматизированные системы, способные осуществлять сделки на рынке без участия человека), роботы и советники основываются, как правило, на одном или нескольких технических индикаторах (характеристиках изменения цены) и редко используют элементы искусственного интеллекта. Те немногочисленные решения, которые применяют нейронные сети (НС) и генетические алгоритмы, отличаются сложностью настройки, обучения и тестирования, что делает их не пригодными для использования широким кругом пользователей.

В англоязычном сегменте научных публикаций этому вопросу уделяется большое внимание, так как он актуален для многих тысяч трейдеров, зарабатывающих на рынке Forex. Однако в Республике Беларусь практически полностью отсутствуют научные работы по данному направлению. Это, по мнению автора, не свидетельствует об отсутствии нерешённых вопросов, а скорей отражает недостаточную развитость правового регулирования данного сегмента и научных школ.

Исследованиями указанных проблем занимались А. Элдер, Т.Р. Демарк, А.А. Куликов, С.Б. Акелис, С. Половицкий и другие, однако разработка методов и технологий поддержки принятия решений на рынке Forex с использованием элементов искусственного интеллекта остаётся важной научной проблемой мирового уровня.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами и темами.** Тема диссертации соответствует п. 5.1 («Методы математического и компьютерного моделирования, компьютерные технологии и интеллектуальные системы поддержки принятия решений») Перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утверждённого Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 585 от 19 апреля 2010 года.

**Цель исследования** – разработка и апробация алгоритмов и технологий поддержки принятия решений для повышения результативности торговли на рынке Forex.

Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи:

- разработать и апробировать алгоритмы формирования управляющих сигналов;
- выделить перечень технических индикаторов, в большей степени связанных корреляционной связью с управляющими сигналами;
- создать технологию формирования обучающей выборки;
- разработать новую автоматизированную систему поддержки принятия решений на валютном рынке, базирующуюся на предложенных алгоритмах и выбранных индикаторах;
- разработать технологию снижения количества убыточных сделок на рынке Forex;
- реализовать и апробировать предложенные алгоритмы и технологии.

#### **Научная новизна полученных результатов.**

1. Предложена технология формирования обучающей выборки для нейронных сетей на основании разработанных алгоритмов, отличающихся возможностью получения количественных результатов и управленческих команд в качестве выходных сигналов и выбранных технических индикаторов в качестве входных.

2. Предложена модель нейро-нечёткой системы, позволяющая на основе выбранных технических индикаторов и управляющих сигналов проводить её обучение и использовать для прогнозирования цен на валютном рынке. При этом точность разработанной модели превосходит точность линейной и квадратичной регрессии, а также таких моделей построения нейронных сетей, как линейная, обобщённо-регрессионная, многослойный персептрон с тремя и четырьмя слоями и на основе радиальной базисной функции.

3. Разработана технология снижения количества убыточных сделок на валютном рынке, позволяющая достичь соотношения прибыльных сделок к убыточным на уровне 8 к 2 за счёт идентификации и выбора наиболее предпочтительной для входа в рынок третьей волны.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Технология формирования обучающей выборки, отличающаяся алгоритмами создания управляющих сигналов и перечнем технических индикаторов, позволяющая повысить результативность системы поддержки принятия решений на валютном рынке за счёт использования наиболее репрезентативных показателей с учётом выявленных корреляционных зависимостей.

2. Автоматизированная система поддержки принятия решений на валютном рынке, отличающаяся технологией формирования обучающей выборки и структурой нейронной сети, позволяющая достичь соотношения прибыльных сделок к убыточным на уровне 70 % за счёт создания и использования нейро-нечётких моделей.

3. Технология снижения количества убыточных сделок на валютном рынке, отличающаяся алгоритмом идентификации на основании волнового анализа, позволяющая достичь соотношения прибыльных сделок к убыточным на уровне 80 % за счёт выбора наиболее предпочтительной для входа в рынок третьей волны.

4. Разработанное программное обеспечение, реализующее предложенные алгоритмы и технологии, выявленные связи и закономерности, параметры оптимизации использованных технических индикаторов, которые в совокупности позволяют осуществлять интеллектуальную поддержку принятия управленческих решений на рынке Forex.

**Личный вклад соискателя.** Все выводы и защищаемые положения получены автором лично. Вклад научного руководителя заключается в оказании консультационной помощи по реализации и апробированию разработанных методов и технологий.

Личный вклад автора диссертации в опубликованности научных результатов составляет 2,0 авторских листа (а.л.) (65 %).

**Апробация диссертации и информация об использовании её результатов.** Основные результаты исследований и положения диссертации представлены и обсуждены на: XIII международной научной конференции «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2013); XI Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (Минск, 2013); VI international research and practice conference «Science, Technology and Higher Education» (Westwood (Canada), 2014).

Кафедре интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники переданы и используются научно обоснованные методы принятия управленческих решений на примере валютного рынка. Указанная работа внедрена в учебный процесс в 2014 году при подготовке лекционных материалов и презентаций для проведения занятий по курсам «Модели решения задач в интеллектуальных системах», «Математические основы интеллектуальных систем» (Акт внедрения).

Белорусскому партнёру «Альпари» переданы и используются научно обоснованные методы принятия управленческих решений на примере валютного рынка. Указанная работа внедрена в производственный процесс в 2014 году в ООО «ФинГруппКонсалт» (Акт внедрения).

**Опубликованность результатов диссертации.** Результаты диссертации опубликованы в 10 научных работах, в том числе в 5 статьях в рецензируемых научных изданиях, 5 материалах научных конференций и тезисах докладов. 5 публикаций соответствуют пункту 18 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий в Республике Беларусь.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация содержит перечень условных обозначений, введение, общую характеристику работы, четыре главы, заключение, список использованных источников и два приложения.

Полный объём диссертации составляет 130 страниц, в том числе 79 иллюстраций занимают 20 страниц, 7 таблиц – 6 страниц, 2 приложения – 8 страниц, список использованных источников из 112 наименований – 10 страниц, список публикаций соискателя из 10 наименований – 2 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** проанализировано состояние проблемы разработки систем поддержки принимаемых решений на валютных и фондовых рынках.

В данном направлении известны работы Э.С. Емельяновой, Ю.Н. Журавлёвой, В.А. Ефремова, Н.В. Шолохова, А.В. Яремчука, Ю.В. Куреленковой, В.В. Никонова, Д.В. Файнберга, В.В. Краснопрошина, В.Ф. Голикова, П.В. Белобрового, А.В. Лукашёва, С.С. Головачёва, Л.П. Яновского и других авторов. Значительное количество исследований в этой области свидетельствует о высокой актуальности выбранной темы.

Большинство существующих механических торговых систем основаны на использовании различных технических индикаторов и крайне редко включают в себя элементы искусственного интеллекта. Вместе с тем нейронные сети являются признанным эффективным средством для прогнозирования финансовых рядов, поэтому далее НС использованы автором для разработки новой автоматизированной системы.

Выполненный аналитический обзор существующих торговых советников выявил следующие обстоятельства. Ряд коммерческих продуктов, протестированных автором, несмотря на высокие рекламные показатели, не подтвердили свою работоспособность. Так, например, поставляемый на платной основе фирмой ForexAC робот Hydrus базируется на канальной торговле во время явно выраженных трендов (тенденций движения цены в одном направлении). Настройка большого количества параметров производится на основе ретроспективных данных, однако, как показали исследования, это не гарантирует получение положительного результата в режиме реальных торгов. Так, заявленные 172 % за 2013 год по паре EURUSD могут быть получены только задним числом – по истечении периода при доступности всех котировок есть возможность оптимизировать советник именно под данные условия. Интересно заметить, что, например, применение оптимальных параметров за 2013 год к данным за 2012 год приносит убытки. Использование оптимизированного робота Hydrus в 2014 году в течение двух месяцев также не позволило выйти на прибыльный результат. Стоимость при этом в зависимости от пакета поставки составляет 149 – 599 долл. США.

Свободно распространяемые советники ArtificialIntelligence и Combo\_Right (автор – Ю.В. Решетов), как утверждается, используют нейронные сети, однако проведённый анализ исходных кодов это не подтвердил. Попытка запустить и оптимизировать данные советники также привела к ошибке.

На сайте сообщества MQL4, посвящённого программированию советников и индикаторов, в рейтинге лучших механических торговых систем значится робот Breakdowning martingail, применяющий управление капиталом по методу Мартингейла, но при этом сам автор не рекомендует использовать данную разработку для реальных торгов.

В главе 1 также представлен аналитический обзор программных пакетов, используемых на финансовых и фондовых рынках. Из наиболее распространённых и функциональных необходимо выделить MetaStock – инструмент для технического анализа данных.

Таким образом, существующие на сегодняшний день торговые советники, как правило, показывают положительный результат только на ограниченных временных периодах и валютных парах, поэтому автором решалась задача разработать универсальный инструмент, который не будет привязан к указанным параметрам.

**Во второй главе** описана технология формирования обучающей выборки.

Для получения реальных хронологических данных об уровне цен на валютном рынке была использована наиболее распространённая торговая платформа (программное средство) MetaTrader версии 4. В качестве валютной пары на основании наибольшего объёма осуществляемых сделок была выбрана пара EURUSD. Временной интервал графиков торговли может быть выбран различным, но с учётом волатильности предпочтительнее выглядит среднесрочная стратегия на четырёхчасовых графиках.

Для обработки полученной информации был разработан алгоритм, который позволил выделить точки входа в рынок – сигналы на покупку либо продажу. К основным параметрам алгоритма относятся: временной шаг обработки  $t$ , максимальная продолжительность сделки  $T_{max}$ , величина приемлемого убытка  $Z$ , величина желаемой прибыли  $P$ . При этом для каждого шага алгоритм после обработки архива котировок предлагает одно из трёх действий: покупать, продавать либо находиться вне рынка. Блок-схема разработанного алгоритма представлена на рисунке 1. После обработки котировок получается массив  $B$ , элементы которого являются торговыми сигналами управления.

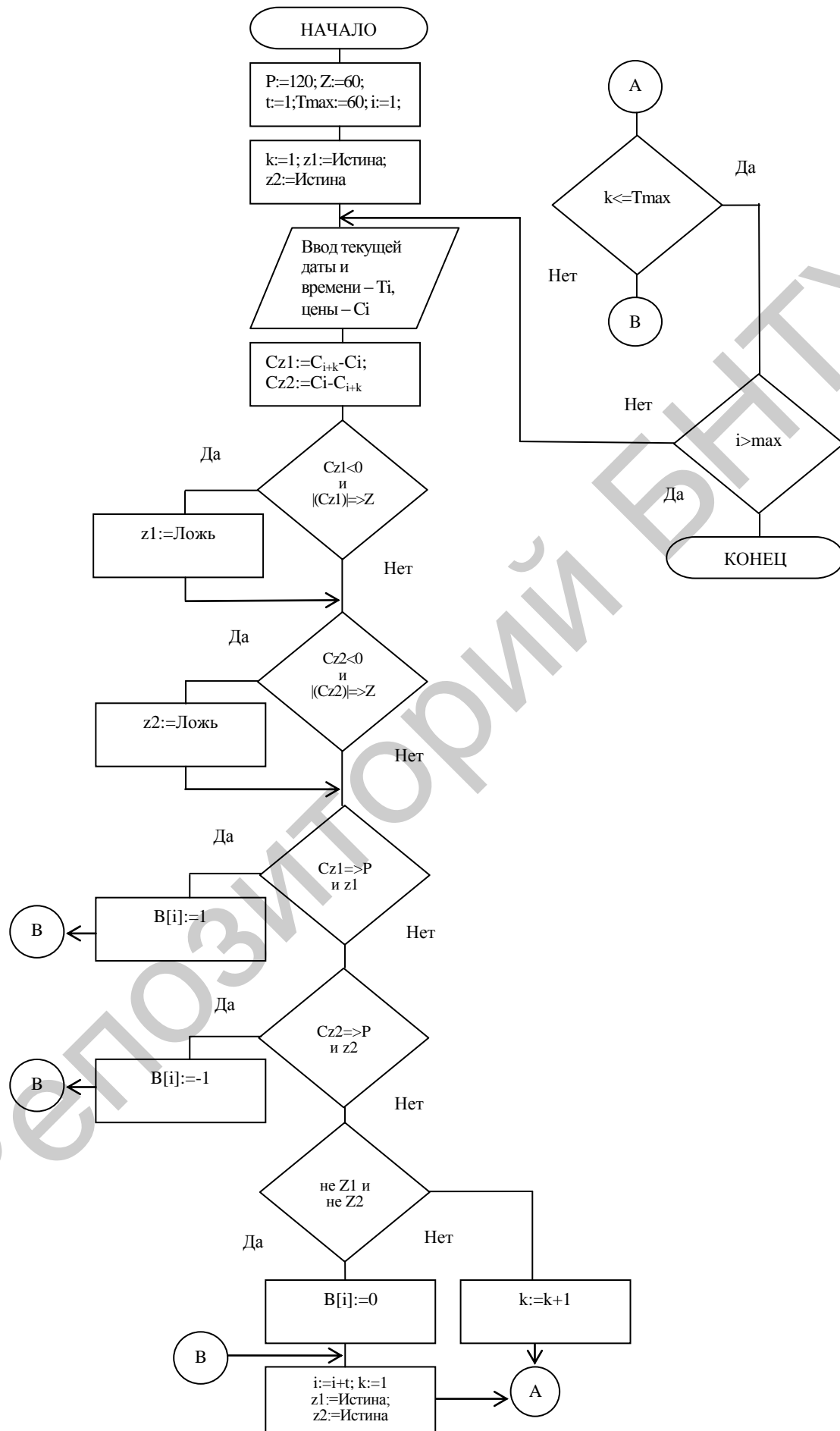
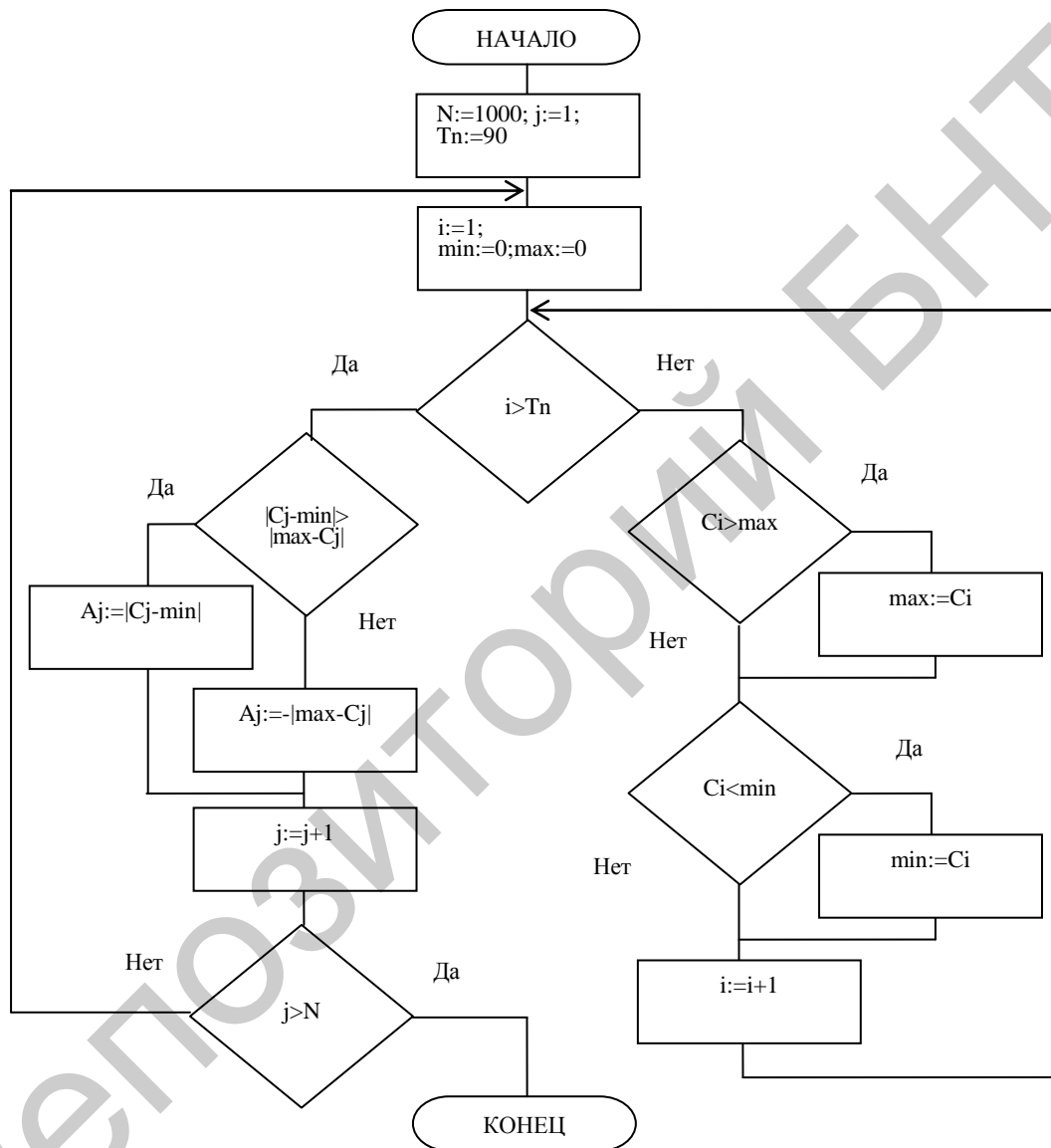


Рисунок 1. – Блок-схема алгоритма формирования сигналов управления



Очевидно, что таким образом сигналы получены в ситуации, когда известны котировки валютной пары на перспективу. Однако в реальной жизни необходимо принимать решения, не имея подобной информации. Поэтому представляет научный интерес выделить ряд индикаторов, изменения значений которых были бы тесно связаны с сигналами.

Для формирования числового ряда управляющих сигналов был разработан соответствующий алгоритм, блок-схема которого представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2. – Блок-схема модифицированного алгоритма формирования сигналов управления**

Идея данного алгоритма заключается в следующем. Имея массив значений цен за истекший период времени ( $C$ ), сформируем новый массив  $A$ , элементами которого будут значения максимального отклонения от текущей цены за период  $Tn$ . При этом положительное значение будет означать возможность открытия в данной точке сделки на покупку, отрицательное – на продажу.

С целью определения возможных входных сигналов был проведён корреляционный анализ между наиболее распространёнными техническими индикаторами, используемыми трейдерами, и сформированным рядом торговых сигналов. Результат представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Коэффициенты корреляции между значениями ряда торговых сигналов и индикаторами

Обозначение индикатора	Название индикатора	Коэффициент корреляции
MACD	Схождение/Расхождение Скользящих Средних (Moving Average Convergence/Divergence)	-0,0795
MACD signal	Сигнальная линия MACD	-0,1065
MACD - signal	Разность между MACD и сигнальной линией	0,0734
AC	Технический Индикатор Ускорения/Замедления (Acceleration/Deceleration, AC)	
AD	Индикатор Накопления/Распределения (Accumulation/Distribution, A/D)	-0,2610
Alligator	Аллигатор (Bill Williams' Alligator)	-0,3116
Gator	Гатор Осцилятор (Gator Oscillator)	0,0788
ADX	Индекс Среднего Направления Движения (Average Directional Movement Index, ADX)	0,1072
ATR	Средний Истинный Диапазон (Average True Range, ATR)	0,0055
AO	Замечательный Осцилятор Билла Вильямса (Awesome Oscillator, AO)	-0,0316
BearsPower	Индикатор медвежьей силы	-0,0164
Bands	Полосы Боллинджера (Bollinger Bands®, BB)	-0,2950
BullsPower	Индикатор бычьей силы	-0,0057
CCI	Индекс Товарного Канала (Commodity Channel Index, CCI)	-0,0312
DeMarker	Индикатор Демарка (DeMarker, DeM)	-0,0600
Envelopes	Индикатор Огибающие Линии (Конверты, Envelopes)	-0,3114
Force	Индекс Силы (Force Index, FRC)	0,0087
Ichimoku	Индикатор Ишимоку Кинко Хайо (Ichimoku Kinko Hyo)	-0,2783
MFI	Индекс Денежных Поточков (Money Flow Index, MFI)	0,0076
OsMA	Индикатор скользящей средней осцилятора (Moving Average of Oscillator)	0,0734
SAR	Параболическая Система SAR (Parabolic SAR, Stop & Revers)	-0,2963
RSI	Индекс Относительной Силы (Relative Strength Index, RSI)	-0,0845
RVI	Индекс Относительной Бодрости (Relative Vigor Index, RVI)	-0,0636
StdDev	Стандартное отклонение (Standard Deviation, StdDev)	-0,0112
Stochastic	Стохастический Осцилятор (Stochastic Oscillator)	-0,0179
WPR	Технический Индикатор Процентный Диапазон Вильямса (Williams' Percent Range, %R)	-0,0371

Из таблицы 1 видно, что наибольший коэффициент корреляции имеют следующие индикаторы: AD, Alligator, Bands, Envelopes, Ichimoku и SAR.

Для определения индикаторов, значения которых будут использованы в качестве входных параметров нейронной сети, были исследованы корреляционные связи их значений на графиках различных временных периодов (таблица 2).

Таблица 2. – Коэффициенты корреляции для выбранных индикаторов на различных таймфреймах (периодах)

Валютная пара, таймфрейм	AD	Alligator	Bands	Envelopes	Ichimoku	SAR	MA140-MA120
EURUSD, 15 мин	0,2017	-0,4302	-0,4921	-0,4822	-0,3832	-0,3644	<u>0,1330</u>
EURUSD, 30 мин	-0,8371	-0,7701	-0,8026	-0,7622	-0,7382	-0,7115	0,5344
EURUSD, 1 час	-0,7549	-0,8853	-0,7716	-0,8789	-0,8432	-0,7666	0,8646
EURUSD, 4 часа	-0,1863	-0,6974	-0,6815	-0,7123	-0,6851	-0,5706	0,6983
EURUSD, 1 день	-0,1921	-0,4624	-0,3963	-0,4836	-0,4461	-0,4096	<u>0,1066</u>
GBPUSD, 30 мин	-0,7820	-0,8103	-0,7702	-0,7955	-0,7889	-0,7534	0,7039
GBPUSD, 1 час	-0,4538	-0,3864	-0,3719	-0,3279	-0,3052	-0,3615	0,3658
GBPUSD, 4 часа	-0,4565	-0,1798	-0,1982	-0,1621	-0,1671	<u>-0,1389</u>	0,4596
GBPUSD, 1 день	-0,1536	-0,2608	-0,2574	-0,2757	-0,2598	-0,2694	0,1822

*Примечание – Индикатор MA140-MA120 является разностью значений индикаторов Moving Average с периодами 140 и 120*

Анализируя представленные в таблице 2 данные, необходимо отметить изменение знака у индикатора AD. Этот факт требует исключения его из перечня индикаторов, значения которых будут в дальнейшем использованы для формирования обучающей выборки и поддержки принятия решений. Для остальных индикаторов сильная статистическая связь их значений с торговыми сигналами сохранилась. При этом с учётом размера выборки ( $N=1000$ ) и критических значений коэффициента корреляции ( $0,1460$ ) величина ошибки  $p$  составляет  $0,001$  (для подчёркнутых значений  $0,01$ ). То есть с вероятностью  $99,9\%$  (для подчёркнутых значений  $99\%$ ) выявленные связи являются статистически значимыми.

В результате обучающая выборка для нейронной сети будет состоять из нескольких рядов: значения выбранных технических индикаторов будут являться входными параметрами, а торговые сигналы управления – выходным.

Таким образом, предложена технология формирования обучающей выборки для обучения нейронных сетей с целью поддержки принятия решений на валютном рынке. При этом точность разработанной модели, как показали выполненные сравнения, превосходит точность линейной и квадратичной регрессии.

**В третьей главе** описана разработанная автоматизированная система поддержки принятия решений на рынке Forex. Изложены результаты выполненных исследований оптимальности количества входных сигналов. Показано, что для решения задачи прогнозирования изменения цен на валютном рынке в рамках нейро-нечёткой модели оптимальным является количество входных сигналов, равное семи.

Проведённые исследования различных структур искусственных нейронных сетей позволили сравнить их на предмет лучшего соответствия по параметру ошибки обучения. Так, для линейной модели ошибка составила 96,1; обобщённо-регрессионной – 31,1; на базе радиальной базисной функции – 77; трёхслойного персептрона – 68,9; четырёхслойного персептрона – 98,4; для нейро-нечёткой модели – 25,6.

При этом следует отметить, что в рамках повышения точности, например, для многослойного персептрона, увеличение скрытых слоёв (с одного до двух) не приносит ожидаемый результат.

Для построения нейро-нечёткой системы может быть использован пакет MatLab, предоставляющий возможность проектировать нейронные сети и работать с нечёткими множествами. Для примера сформируем текстовый файл (обучающую выборку) с тремя рядами, первые два из которых будут значения технических индикаторов (Envelops и MA140-120), имеющих наибольший коэффициент корреляции (согласно таблице 2, пара EURUSD, период – 4 часа), третий – торговые сигналы, полученные в результате выполнения алгоритма на рисунке 2. После создания и обучения НС её можно использовать для поддержки принимаемых решений.

На рисунке 3 представлен пример использования нейро-нечёткой модели для получения прогноза изменения валютного курса для тестового примера с двумя входными сигналами.

В среднем, как показали проведённые исследования, соотношение прибыльных сделок к убыточным при использовании автоматизированной системы составляет 7 к 3.

Существующие аналоги чаще всего перед обучением НС используют специальные способы подготовки, такие как метод главных и независимых компонент, линейную нормировку, окно данных, выделение наибольших значимых признаков и уменьшение количества обучающих примеров (метод k-средних). При этом сам выбор тех или иных методов чаще всего не обоснован и базируется только на предпочтениях авторов. Предложенная в данной работе система лишена указанных выше недостатков.

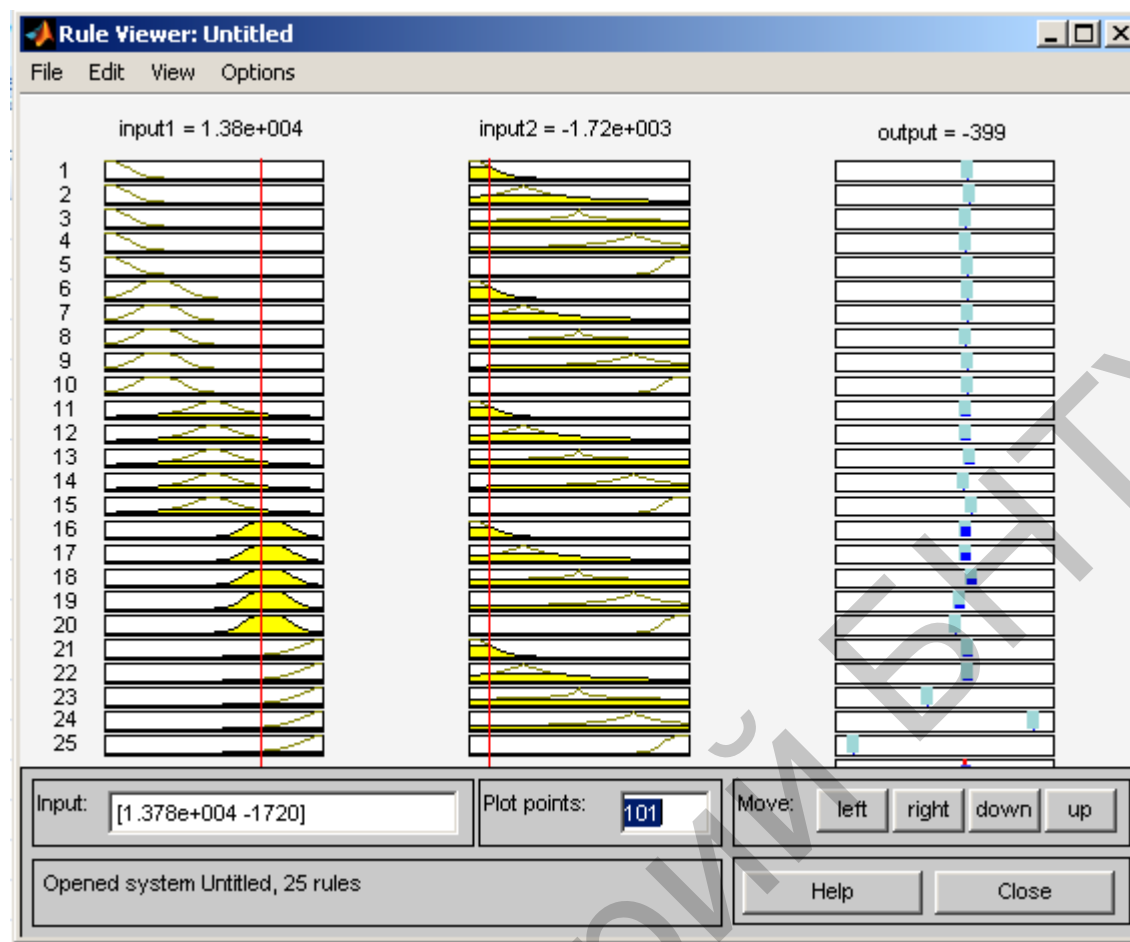


Рисунок 3. – Получение прогноза от нейро-нечёткой модели

В четвёртой главе изложена технология снижения количества убыточных сделок на валютном рынке. Суть её заключается в том, что генерируемые МТС сигналы на открытие сделки должны фильтроваться на основе определённых правил. При этом выполненные исследования и полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование только технических индикаторов не позволяет создать универсальный инструмент для снижения количества убыточных сделок. Наиболее оправданным для этих целей, по мнению автора, является применение теории Эллиотта, в соответствии с которой всё движение на рынке Forex представляет собой набор волн, при этом каждая отдельная волна полного цикла, в свою очередь, является полным циклом более низкого уровня (временного диапазона). Для использования данной теории в работе МТС необходимо, определив структуру волн, выделить точки, наиболее благоприятные для входа в рынок. Этой проблеме посвящены работы С. Половицкого, который существенно продвинул классическую теорию Эллиотта и адаптировал её для современных условий Forex.

Для использования выделенных точек в процессе торговли необходимо автоматизировать разметку рынка на основании волновой теории. Как справедливо отмечает С. Половицкий, существующий инструментарий делает это недостаточно точно. Поэтому был предложен новый подход, призванный повысить

адекватность определения волновой структуры, одним из основных отличий которого является использование Осциллятора Билла Вильямса (АО – Awesome oscillator) для идентификации первой волны. При этом если индикатор АО пересекает нулевую линию, образуя бугорок (высота которого не превосходит заданного значения), можно говорить, что это первая волна на рассматриваемом таймфрейме (рисунок 4).



**Рисунок 4. – Пример использования индикатора АО для идентификации первой волны**

С учетом вышеизложенного был разработан новый алгоритм определения волновой структуры валютного рынка, который предусматривает следующие действия:

- 1) история котировок (цена закрытия каждого периода) занесена в массив *A*;
- 2) просматривая элементы массива *A*, формируется новый массив *B*, элементы которого равны текущему экстремуму;
- 3) новый импульс регистрируют, если он по отношению к предыдущему составляет 30% и более. Данный параметр определяет чувствительность алгоритма и может быть изменен;
- 4) для повышения адекватности определения волновой структуры рынка контролируют, чтобы каждая последующая волна была противоположна по направлению предыдущей. Это реализуют специально введенным флагом;
- 5) каждая волна, построенная на основании массива *B* и имеющая на своем протяжении перепад значений индикатора АО, меньший по модулю заданного

параметра с пересечением нулевой линии, объявляется первой, а две следующих правее – второй и третьей.

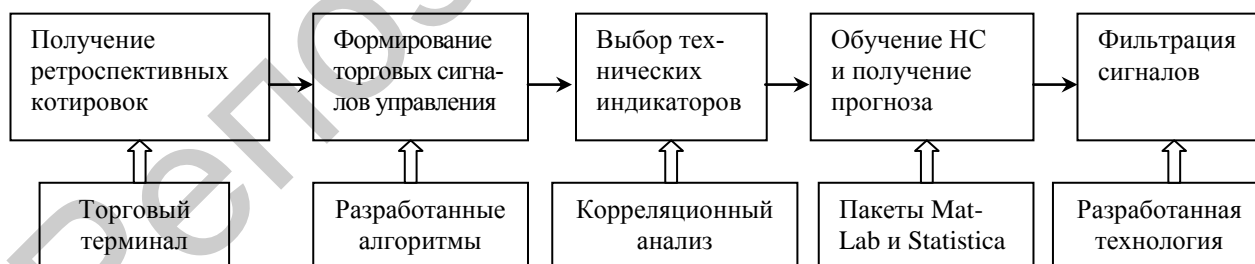
Применение алгоритма позволяет автоматизировать процесс анализа волновой структуры рынка с целью выделения наиболее предпочтительных точек заключения сделок. Резюмируя выполненные сравнения с аналогами, необходимо отметить, что рассмотренные индикаторы-зигзаги не позволяют определить первую и последующие волны на графике, а значит, не могут быть использованы в предложенной технологии снижения количества убыточных сделок. Кроме того, по сравнению с существующими аналогами разработанный инструмент точнее размечает волновую структуру благодаря настраиваемому параметру чувствительности.

В общем виде технология снижения количества убыточных сделок состоит из следующих укрупнённых шагов:

1. Для выбранной валютной пары и таймфрейма производится анализ волновой структуры рынка.
2. Используя разработанный алгоритм идентификации с применением Осциллятора Билла Вильямса, находим третьи волны.
3. Получаем сигналы управления от МТС.
4. Если полученные сигналы приходятся на время формирования третьей волны, то принимаем и осуществляем открытие сделки, если нет – сигнал отбрасывается и сделка не осуществляется.

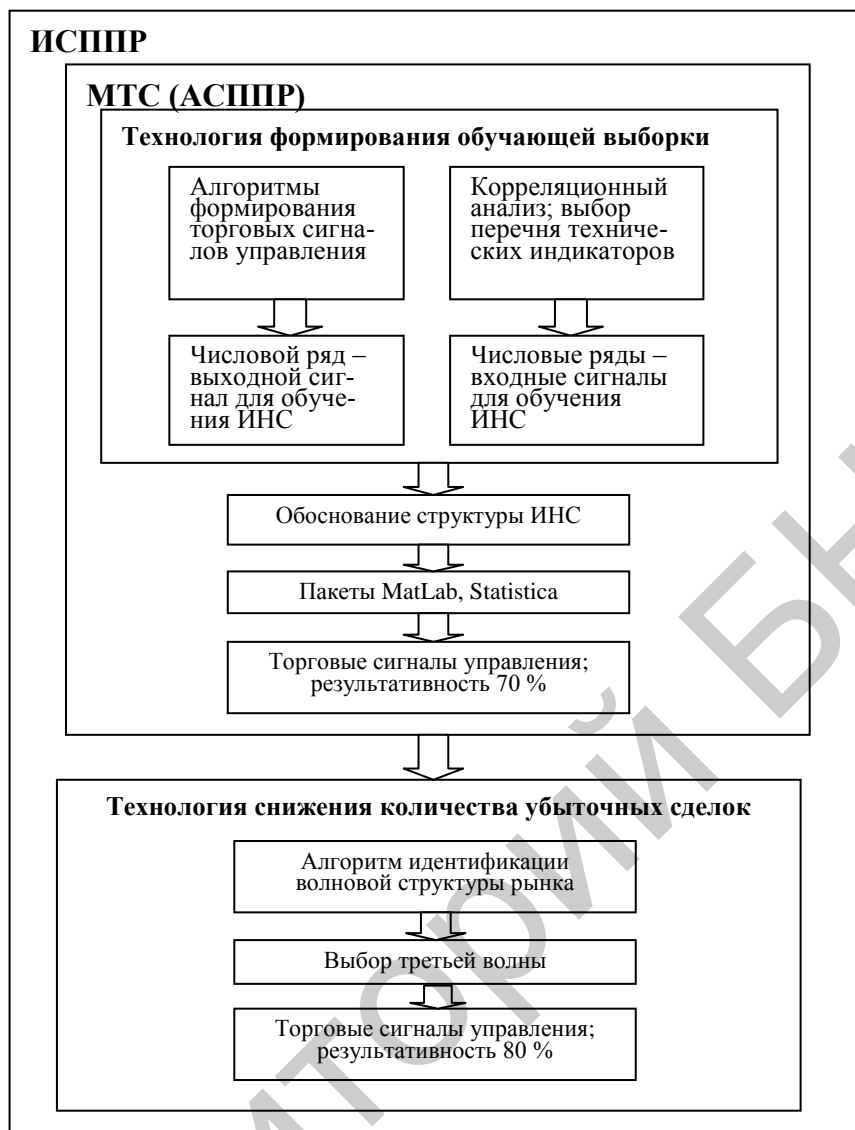
Изложенные подходы позволяют повысить количество прибыльных сделок до 80 %.

В целом разработанный инструментарий можно представить схематично (рисунок 5).



**Рисунок 5. – Технологическая цепочка интеллектуальной поддержки принятия решений на рынке Forex**

Для того чтобы чётко отразить место каждого предложенного компонента и его результат, на рисунке 6 представлена схема всей интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИССПР). При этом объектом управления системы является процесс торговли на валютных и фондовых рынках.



**Рисунок 6. – Схема компонентов ИСППР**

Как следует из рисунка 6, искусственная нейронная сеть (ИНС) является составной частью разработанной МТС (автоматизированной системы поддержки принятия решений – АСППР) и может быть реализована различными способами. ИСППР включает в себя все компоненты и отличается от МТС (АСППР) наличием дополнительной технологии снижения убыточных сделок.

Таким образом, предложенная система поддержки принятия решений отличается от аналогов тем, что: используются нейронные сети и нечёткая модель; для формирования обучающей выборки применяется новая технология при отсутствии необходимости в предварительной обработке и преобразовании данных; для повышения результативности торговли разработана технология снижения количества убыточных сделок, которая базируется на созданном алгоритме идентификации волновой структуры и выборе наиболее предпочтительной третьей волны.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Предложено два алгоритма формирования торговых сигналов. Результатом работы первого являются атрибутивные сигналы трёх видов: покупка, продажа, вне рынка. Модифицированный второй алгоритм позволяет рассчитать ожидаемый ход цены с указанием количества пунктов в сторону роста либо убыли цены. Данные значения используются как выходные сигналы управления при обучении нейронных сетей [1, 2, 4, 6].

2. Проведённый анализ позволил выделить шесть технических индикаторов (Alligator, Bands, Envelopes, Ichimoku, SAR и MA140-MA120), значения которых статистически значимо (величина ошибки  $p < 0,001$ ) связаны с сигналами управления. Представляется целесообразным их использование в качестве входных сигналов при обучении нейронных сетей [1, 2, 4, 6].

3. Предложена технология формирования обучающей выборки, отличающаяся алгоритмами создания управляющих сигналов и перечнем технических индикаторов, позволяющая повысить результативность системы поддержки принятия решений на валютном рынке за счёт использования наиболее репрезентативных показателей с учётом выявленных корреляционных зависимостей [2, 3, 10].

4. Разработана автоматизированная система для поддержки принятия управленческих решений на валютном рынке, отличающаяся технологией формирования обучающей выборки и структурой нейронной сети, позволяющая достичь соотношения прибыльных сделок к убыточным на уровне 7 к 3 за счёт создания и использования нейро-нечётких моделей. При этом точность разработанной модели превосходит точность линейной и квадратичной регрессии, а также таких моделей построения нейронных сетей, как: линейная, обобщённо-регрессионная, многослойный персептрон с тремя и четырьмя слоями и на основе радиальной базисной функции [2, 5, 7, 8, 9].

5. Разработан новый алгоритм идентификации волновой структуры рынка, отличающийся использованием для определения первой волны технического индикатора Awesome oscillator и превосходящий аналоги по точности определения каждой новой волны благодаря настраиванию чувствительности [3, 6, 9, 10].

6. Предложена технология снижения количества убыточных сделок, которая отличается алгоритмом идентификации валютного рынка, позволяющая достичь соотношения количества прибыльных сделок к убыточным на уровне 8 к 2 за счёт выбора наиболее предпочтительной третьей волны [2, 3, 9].

7. Разработано программное обеспечение, реализующее предложенные алгоритмы и технологии на языках MQL4 и MatLab; выявлены статистически значимые корреляционные связи и закономерности, параметры оптимизации использованных технических индикаторов, наиболее благоприятные точки для

входа в рынок, которые в совокупности позволяют осуществлять интеллектуальную поддержку при принятии управленческих решений на рынке Forex [2, 3, 4, 5].

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

Разработанные методы и технологии могут быть эффективно применены для поддержки принятия решений при торговле на рынке Forex.

Результаты диссертационного исследования внедрены в производственный процесс в ООО «ФинГруппКонсалт» (белорусский партнёр «Альпари») и в учебный процесс Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (Акты внедрения).

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в научных журналах**

1. Рыбак, В.А. Анализ и оптимизация эколого-экономических параметров инновационных проектов / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». – 2012. – № 6. – С. 175–179.

2. Рыбак, В.А. Обучение нейронной сети для поддержки принятия решений на валютном рынке / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман // Доклады БГУИР. – 2014. – № 1 (79). – С. 39–45.

3. Рыбак, В.А. Технология снижения количества убыточных сделок на валютном рынке / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман // Вести Института современных знаний. – 2014. – № 2. – С. 64–69.

4. Рыбак, В.А. Применение и оптимизация нейронных сетей для поддержки принимаемых решений на валютном рынке / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман // Доклады БГУИР. – 2014. – № 8(86). – С. 55–59.

5. Рыбак, В.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений на рынке Форекс / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман // Информатика. – 2014. – № 4(44). – С. 52–58.

### **Тезисы докладов и материалы конференций**

6. Рыбак, В.А. Автоматизированная система обработки эколого-экономических данных / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман, Д.В. Малик // Научно-технические и экологические проблемы природопользования: материалы Международной научно-практической конференции, Брест, 18–20 апреля 2012 г. / УО «Брестский государственный технический университет»; под ред. А.А. Волчек [и др.]. – Брест, 2012. – С.150–153.

7. Рыбак, В.А. Научные принципы создания и использования систем поддержки принятия решений в области охраны окружающей среды / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман // Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века: материалы 13-й Международной научной конференции, Минск, 16–17 мая 2013 г. / МГЭУ им. А.Д. Сахарова; под ред. С.П. Кундаса [и др.]. – Минск, 2013. – С. 254.

8. Рыбак, В.А. Проблемы достоверности информации в системах поддержки принимаемых решений / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман // Технические средства защиты информации: тезисы докладов XI Белорусско-российской научно-технической конференции, Минск, 5–6 июня 2013 г. / БГУИР; под ред. Л.М. Лынькова [и др.]. – Минск, 2013. – С. 10.

9. Рыбак, В.А. Система поддержки принятия решений на рынке Forex / В.А. Рыбак, Х.М. Сулайман // Теория и практика современной науки: материалы XIV Международной научно-практической конференции, Москва, 2–3 июля 2014 г. / Науч.-инф. издат. центр «Институт стратегических исследований». – М., 2014. – С. 261–264.

10. Rybak, V.A. Application and optimization of neural networks for decision support on exchange market / V.A. Rybak, H.M. Sulaiman // Science, Technology and Higher Education: Materials of the VI international research and practice conference, Westwood (Canada), November 12th–13th, 2014 / publishing office Accent Graphics communications. – Westwood – Canada, 2014. – P. 399–404.



## РЭЗІЮМЭ

### Сулаіман Халед Мансі

#### Алгарытмы і тэхналогіі падтрымкі прыняцця рашэнняў на фондавых і валютных рынках (на прыкладзе рынку Forex)

**Ключавыя словы:** валютны рынак Forex, штучныя нейронавыя сеткі, аўтаматызаваная сістэма падтрымкі прыняцця кіраўніцкіх рашэнняў, алгарытмы фарміравання гандлёвых сігналаў кіравання.

**Мэта работы:** распрацоўка і апрабацыя алгарытмаў і тэхналогій падтрымкі прыняцця рашэнняў для павышэння выніковасці гандлю на рынку Forex.

**Метады даследавання:** мадэляванне, статыстычныя метады і метады аб'ектна-арыентаванага праграмавання.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Распрацаваны лагічна звязаны і абгрунтаваны тэхналагічны ланцужок стварэння і выкарыстання сістэм падтрымкі прыняцця рашэнняў на валютным рынку, які ўключае ў сябе: алгарытмы фарміравання гандлёвых сігналаў, якія дазваляюць атрымліваць колькасныя вынікі і кіраўніцкія каманды; тэхналогію фарміравання навучальнай выбаркі, якая адрозніваецца алгарытмамі стварэння гандлёвых сігналаў і пералікам тэхнічных індыхатараў, што дазваляе павысіць выніковасць сістэмы падтрымкі прыняцця рашэнняў на валютным рынку за кошт выкарыстання найбольш рэпрэзентатыўных паказчыкаў з улікам выяўленых карэляцыйных залежнасцей; аўтаматызаваную сістэму, якая вылучаецца тэхналогіяй фарміравання навучальнай выбаркі і структурай нейронавай сеткі, якая дазваляе дасягнуць суадносінаў прыбытковых пагадненняў да стратных на ўзроўні 70 % за кошт стварэння і выкарыстання нейра-недакладных мадэляў; тэхналогію зніжэння колькасці стратных пагадненняў аўтаматызаванай сістэмы, якая адрозніваецца алгарытмам ідэнтыфікацыі валютнага рынку на аснове хвалевага аналізу і дазваляе дасягнуць суадносінаў прыбытковых пагадненняў да стратных на ўзроўні 80% за кошт выбару найбольш спрыяльнай для ўваходу ў рынак трэцяй хвалі, якія ў сукупнасці дазваляюць забяспечыць эфектыўнае прыняцце рашэнняў.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні** – для падтрымкі прыняцця рашэнняў пры гандлі на рынку Forex. Вынікі ўкараняліся ў навучальны працэс БДУІР і ў вытворчы працэс ТАА «ФінГрупКансалт» – беларускі філіял «Альпары».

**Галіна выкарыстання:** кіраванне фінансавай дзейнасцю і інвестыцыямі, гандаль на рынку Forex, навучальны працэс.

## РЕЗЮМЕ

Сулайман Халед Манси

### Алгоритмы и технологии поддержки принятия решений на фондовых и валютных рынках (на примере рынка Forex)

**Ключевые слова:** валютный рынок Forex, искусственные нейронные сети, автоматизированная система поддержки принятия управленческих решений, алгоритмы формирования торговых сигналов управления.

**Цель работы:** разработка и апробация алгоритмов и технологий поддержки принятия решений для повышения результативности торговли на рынке Forex.

**Методы исследования:** моделирование, статистические методы и методы объектно-ориентированного программирования.

**Полученные результаты и их новизна.** Разработана логически связанная и обоснованная технологическая цепочка (методология) создания и использования систем поддержки принятия решений на валютном рынке, которая включает в себя: алгоритмы формирования торговых сигналов, позволяющие получать количественные результаты и управленческие команды; технологию формирования обучающей выборки, которая отличается алгоритмами создания торговых сигналов и перечнем технических индикаторов и позволяет повысить результативность системы поддержки принятия решений на валютном рынке за счёт использования наиболее репрезентативных показателей с учётом выявленных корреляционных зависимостей; автоматизированную систему, которая отличается технологией формирования обучающей выборки и структурой нейронной сети и позволяет достичь соотношения прибыльных сделок к убыточным на уровне 70 % за счёт создания и использования нейро-нечётких моделей; технологию снижения количества убыточных сделок автоматизированной системы, которая отличается алгоритмом идентификации валютного рынка на основании волнового анализа и позволяет достичь соотношения прибыльных сделок к убыточным на уровне 80 % за счёт выбора наиболее предпочтительной для входа в рынок третьей волны, что в совокупности позволяет обеспечить эффективное принятие решений.

**Рекомендации по использованию** – для поддержки принятия решений при торговле на рынке Forex. Результаты внедрены в учебный процесс БГУИР и в производственный процесс ООО «ФинГруппКонсалт» – белорусский филиал «Альпари».

**Область применения:** управление финансовой деятельностью и инвестициями, торговля на рынке Forex, учебный процесс.

## SUMMARY

**Sulaiman Khaled Mansi**

### **Algorithms and technologies to support decision-making on stock and foreign exchange markets (by the example of Forex)**

**Key words:** currency market Forex, artificial neural networks, automated system support management decisions, the formation of trading algorithms control signals.

**Aim of the work:** development and testing of algorithms and techniques for decision support, to improve the efficiency of trade on the Forex.

**Methods:** modeling, statistical methods and methods object-oriented programming.

**The results obtained and their novelty.** developed logical and reasonable technological chain of creation and use of decision support systems in the foreign exchange market, which includes: forming algorithms trading signals, allowing to obtain quantitative results and the management order; forming technology training sample, different algorithms for creating trading signals and a list of technical indicators, allowing to increase the effectiveness of decision support systems in the foreign exchange market through the use of the most representative figures in view of the identified correlations; automated system that differs in forming technology training sample and the structure of the neural network, make it possible to achieve, those reflected ratio of profitable trades to unprofitable at 70% at the expense of creating and using neuro-fuzzy models; technology to reduce the number of losing trades automated system, different in algorithms of identification of the currency market on the basis of the Wave Analysis, allowing to achieve the ratio of profitable trades to unprofitable at 80% due to the selection of the most advantageous to enter the market of the third wave, which together allow for effective decision-making.

**Recommendations for use** - to support decision making when trading in the market Forex. Results are introduced into the educational process in BSUIR and manufacturing process in «FinGruppKonsalt Ltd.» – Belarusian branch of «Alpari».

**Application area:** financial management and investing, trading in Forex, the learning process.

Научное издание

СУЛАЙМАН ХАЛЕД МАНСИ

**АЛГОРИТМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
НА ФОНДОВЫХ И ВАЛЮТНЫХ РЫНКАХ  
(НА ПРИМЕРЕ РЫНКА FOREX)**

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.13.01 – Системный анализ,  
управление и обработка информации

Подписано в печать 11.05.2015. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Гарнитура Times. Усл.-печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 0,91.  
Тираж 80 экз. Заказ 361

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/173 от 12.02.2014  
Пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск