

На правах рукописи



Мусин Артур Рустамович

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТОРГОВЛЕ
АКТИВАМИ ФИНАНСОВОГО РЫНКА**

Специальность: 08.00.13 – Математические и инструментальные
методы экономики (экономические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Москва – 2019

Работа выполнена на кафедре математических методов в экономике федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», г. Москва.

Научный руководитель: **Сорокин Александр Сергеевич**
кандидат экономических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Голембиовский Дмитрий Юрьевич**
доктор технических наук, профессор,
ПАО «Промсвязьбанк», директор Департамента по управлению финансовыми рисками

Арбузов Вячеслав Олегович
кандидат экономических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «ПГНИУ», доцент кафедры информационных систем и математических методов в экономике

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»

Защита состоится 18 апреля 2019 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.196.15 на базе ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова» по адресу: 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, корп. 3, ауд. 353.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в Научно-информационном библиотечном центре имени академика Л.И. Абалкина ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Зацепа, д. 43 и на сайте организации: <http://ords.rea.ru/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2019 г.

И.о. ученого секретаря
диссертационного совета
Д 212.196.15, доктор
экономических наук, профессор



Мхитарян
Сергей Владимирович

I. Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Осуществление торговых операций на финансовом рынке неразрывно связано с предварительной процедурой принятия соответствующих торговых решений, которая, в свою очередь, может быть описана в рамках одного из двух имеющих математическую природу и являющихся традиционными на настоящий момент времени подходов: на основе математических методов моделирования и прогнозирования рыночной динамики, либо на основе методов технического анализа.

Математические методы описания и прогнозирования рыночной динамики базируются на использовании приемов имитационного и эконометрического моделирования, инструментов статистического анализа, а также наработок аппарата искусственных нейронных сетей. В свою очередь, методы технического анализа основываются на результатах рассмотрения поведенческих закономерностей различных индикаторов и индексов, отражающих состояние и динамику финансового рынка.

Постоянно меняющиеся характеристические и конъюнктурные особенности рыночной динамики обуславливают целесообразность объединения обоих традиционных подходов к принятию торговых решений с целью повышения их обоснованности за счет получения дополнительного эффекта в достоверности описания рыночных закономерностей на основе синтеза возможностей принадлежащих соответствующим подходам методов и моделей, адекватных свойствам рассматриваемых процессов. Вместе с тем в современной научной литературе задача подобного объединения различных подходов к принятию торговых решений, в том числе осуществляемых с помощью средств автоматизированной торговли, не получила должного освещения, что и обуславливает актуальность тематики настоящего диссертационного исследования.

Степень разработанности проблемы. Моделирование динамики финансового рынка с использованием аппарата математической статистики, теории вероятностей и случайных процессов опирается на труды как отечественных, так и зарубежных авторов: Айвазяна С.А., Бокса Д., Грейнджера К.,

Дженкинса Г., Лукашина Ю.П., Мхитаряна В.С., Прохорова Ю.В., Самуэльсона П., Ширяева А.Н., Энгла Р.Ф. и др.

Возможности описания рыночной динамики на основе агентно-ориентированного подхода освещены в работах Босвейка П., Брока У., Вестерхоффа Ф., Гисина В.Б., Караева А.К., Лебедевой Т.С., Люкса Т., Манзана С., Мельничука М.В., Хомма К., Шаповала А.Б. и др. В свою очередь, потенциал экономико-математического моделирования рыночных закономерностей на базе математического аппарата естественнонаучных исследований продемонстрирован в работах Блэка Ф., Видова П.В., Дубовикова М.М., Каца М., Колмогорова А.Н., Мантя Р., Романовского М.Ю., Станик Н.А., Старченко Н.В., Стенли Ю.Х., Шоулза М. и др.

В области разработки методов технического анализа как инструмента принятия торговых решений центральное место занимают труды Ковела М., Лебо Ч., Лукаса Д., Мэрфи Д., Нисона С., Паршикова С.В., Прехтера Р., Твардовского В.В., Франкеля Д., Шаннепа Д., Швагера Д., Эллиота Р.

Вопросам создания автоматизированных торговых систем, позволяющих практически реализовывать любые методы прогнозирования динамики финансового рынка и подходы к принятию торговых решений посвящены труды Вайсмана Р., Влита Б., Дейви К., Чана Е.П., Чеботарева Ю.А., Шумкова Е.А., Янга А. и др. В свою очередь, способы обучения подобных систем представлены в работах Гольдберга Д., Израйлевича С.В., Конлана К., Цудикмана В.Я. и др.

Вместе с тем разработка комплексного подхода к принятию торговых решений, объединяющего преимущества адекватных рассматриваемым процессам рыночной динамики методов технического анализа и математического моделирования в целях повышения достоверности прогнозов движения цен на финансовом рынке, представляет собой актуальную и емкую задачу, не являющуюся в полной мере проработанной в современных научных исследованиях.

Необходимость разработки подобного подхода к принятию торговых решений, учитывающих всю полноту доступной информации об исследуемом рынке, в том числе статистические и характеристические особенности его динамики и поведенческие закономерности участников, а также последующей имплементации

этого подхода с помощью инструментальных средств автоматизированной торговли и предопределили выбор цели, задач, объекта и предмета диссертационного исследования.

Целью диссертационного исследования является разработка комплексного подхода к принятию торговых решений на основе синтеза методов технического анализа и математического моделирования, адекватных свойствам рассматриваемых процессов изменчивости временных рядов финансового рынка, а также создание реализующей этот подход автоматизированной торговой системы.

В соответствии со сформулированной целью поставлены следующие **задачи** диссертационного исследования:

1. Разработка метода первоначальной агрегации данных финансового рынка, позволяющего увеличивать однородность статистических свойств процесса их динамики.

2. Разработка экономико-математических моделей временных рядов финансового рынка, объединяющих преимущества методов технического анализа, эконометрического и стохастического моделирования в целях повышения достоверности описания рыночных закономерностей и обоснованности торговых решений.

3. Создание автоматизированной системы, позволяющей формировать торговые решения на основе прогнозов разработанных экономико-математических моделей и совершать соответствующие этим решениям торговые операции без непосредственного участия пользователя, но под его контролем.

4. Разработка процедур обучения автоматизированных торговых систем, обеспечивающих наилучшую результативность их реального практического использования.

5. Разработка метода, позволяющего повышать адаптируемость автоматизированных торговых систем к постоянно меняющимся конъюнктурным особенностям рыночной динамики и улучшать результативность их реального практического использования.

6. Проведение верификации разработанных моделей и апробации автоматизированной торговой системы на реальных исторических данных международного валютного рынка.

Объект исследования – финансовый рынок (на примере международного валютного рынка).

Предмет исследования – процесс изменчивости временных рядов финансового рынка и базирующееся на его описании и прогнозировании принятие решений в области автоматизированной торговли.

Область исследования. Тематика диссертационного исследования соответствует пункту 1.6 «Математический анализ и моделирование процессов в финансовом секторе экономики, развитие методов финансовой математики и актуарных расчетов» и пункту 2.3 «Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях» паспорта специальности 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики (экономические науки).

Теоретической и методологической основой исследования являются научные труды российских и зарубежных авторов, посвященные анализу и экономико-математическому моделированию динамики временных рядов финансового рынка, изучению поведенческих закономерностей его участников, вопросам технического анализа и разработке инструментальных средств практической реализации подходов к принятию торговых решений.

Информационную базу исследования составили следующие источники:

- научные источники, состоящие из монографий, работ российских и зарубежных авторов в областях математической статистики, теории вероятностей и случайных процессов, экономико-математического моделирования динамики финансовых рынков и поведения их участников, прикладного применения методов технического анализа, а также разработки автоматизированных торговых систем, опубликованных в российских и зарубежных периодических изданиях, научных докладах и материалах конференций;

- статистические источники, состоящие из данных торгов на финансовых рынках, доступные для загрузки через сеть Internet и платформу MetaTrader 4;

- результаты анализа и собственные вычисления автора.

Методы исследования. В процессе решения поставленных в диссертационном исследовании задач использовались методы

теории вероятностей и математической статистики, эконометрики и математического анализа, а также методики, применяемые участниками финансового рынка в целях анализа и прогнозирования.

Проведенные исследования реализованы с использованием программно-технического комплекса, включающего следующие компьютерные программы: Stata 12, Deductor Academic 5.3 и Microsoft Excel. Для разработки автоматизированных торговых систем использована платформа MetaTrader 4 со встроенным языком программирования MQL.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке комплексного подхода к принятию торговых решений на основе экономико-математических моделей временных рядов финансового рынка и приемов технического анализа, синтезирующего их преимущества за счет повышения достоверности описания закономерностей рыночной динамики, а также в создании реализующей этот подход автоматизированной системы, позволяющей совершать торговые операции без непосредственного участия пользователя, но под его контролем.

Выносимые на защиту результаты, обладающие научной новизной и полученные лично диссертантом:

1. Разработан метод первоначальной агрегации данных финансового рынка на основе функции их волатильности, позволяющий путем выявления пороговых значений агрегации, соответствующих минимумам тестовой статистики критерия Колмогорова-Смирнова, увеличивать однородность статистических свойств рассматриваемых процессов рыночной динамики.

2. Разработаны экономико-математические модели временных рядов финансового рынка, учитывающие в качестве основных элементов концепции технического анализа трендовые, моментные и стохастические локально-уровневые закономерности рыночного ценообразования, а также позволяющие использовать любые методы эконометрического оценивания, адекватные свойствам рассматриваемых процессов, обеспечивая получение дополнительного эффекта в достоверности прогнозов и обоснованности соответствующих торговых решений.

3. Создана автоматизированная система для популярной среди участников финансового рынка платформы MetaTrader 4,

позволяющая формировать торговые решения, используя предложенный метод агрегации финансовых рядов и прогнозы разработанных экономико-математических моделей, и совершать соответствующие этим решениям торговые операции без непосредственного участия пользователя, но под его контролем.

4. Разработаны процедуры обучения автоматизированных торговых систем для платформы MetaTrader 4, состоящие в согласованном применении заложенных в платформу целевых функций оптимизации генетическим алгоритмом и способов последующего выбора подходящего сценария, содержащего значения оптимизируемых параметров обучаемой системы, обеспечивающих наилучшую результативность ее реального практического использования.

5. Разработан метод, позволяющий повышать адаптируемость автоматизированных торговых систем к постоянно меняющимся конъюнктурным особенностям рыночной динамики и улучшать результативность их реального практического использования за счет агрегации прогнозов математических моделей и инструментов технического анализа с учетом оценки адекватности каждого прогноза конъюнктуре рассматриваемого рыночного процесса, формируемой путем обучения соответствующей системы на исторических данных.

6. Проведена верификация разработанных моделей и апробация созданной на их основе автоматизированной торговой системы на реальных исторических данных международного валютного рынка.

Теоретическая значимость исследования заключается в совершенствовании подходов к принятию торговых решений на финансовом рынке и путей их инструментальной реализации с помощью средств автоматизированной торговли.

Практическая значимость исследования состоит в том, что построенные экономико-математические модели и разработанная на их основе автоматизированная торговая система могут быть использованы профессиональными участниками финансового рынка, в том числе частными инвесторами и финансовыми учреждениями, а также любыми заинтересованными исследователями в качестве эффективного инструмента для получения прогнозов, принятия обоснованных инвестиционных

решений и проведения реальных торговых операций в автоматизированном режиме, без непосредственного участия пользователя, но под его контролем.

Апробация результатов исследования была проведена на следующих научных мероприятиях: XV Международная молодежная научно-практическая конференция «Научные исследования и разработки молодых ученых» (НГТУ, г. Новосибирск, 7 декабря 2016 г.), II Международная научная конференция «Прикладные статистические исследования и бизнес-аналитика» (РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва, 12-20 декабря 2016 г.), XII Международный научный конгресс «Роль бизнеса в трансформации общества – 2017» (Университет «Синергия», г. Москва, 5 апреля 2017 г.), I Международная научно-практическая конференция «Статистические методы исследования социально-экономических и экологических систем региона» (ТГТУ, г. Тамбов, 26-27 октября 2017 г.), International conference «Probability Theory and Mathematical Statistics 2017» (Kazan Federal University, Kazan, November 7-10 2017 г.), VIII Международная научно-практическая конференция имени А.И. Китова «Информационные технологии и математические методы в экономике и управлении» (РЭУ им. Г.В. Плеханова, г. Москва, 22-23 марта 2018 г.), XIII Международный научный конгресс «Роль бизнеса в трансформации общества – 2018» (Университет «Синергия», г. Москва, 18 апреля 2018 г.).

Внедрение результатов исследования. Построенный комплекс прогнозных экономико-математических моделей и разработанная на его основе автоматизированная торговая система прошли успешную апробацию на реальных исторических данных рынков USDJPY, USDRUB и EURUSD за период с 2012 по 2017 год. Отдельные результаты проведенного исследования нашли применение в ряде технических разработок для практической деятельности Управления продаж продуктов финансового рынка Департамента инвестиционных продуктов ПАО «Банк ВТБ», что подтверждается справкой о внедрении.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 11 печатных работ общим объемом 5,61 п.л., в том числе 7 печатных работ в изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук,

общим объемом 4,42 п.л. Также имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура, объем и содержание диссертации. Диссертация включает введение, 3 главы, заключение, список литературы и приложения. Общий объем составляет 217 страниц и включает 24 таблицы, 31 рисунок, 64 формулы и 18 приложений. Список литературы состоит из 172 источников.

II. Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Разработан метод первоначальной агрегации данных финансового рынка на основе функции их волатильности, позволяющий путем выявления пороговых значений агрегации, соответствующих минимумам тестовой статистики критерия Колмогорова-Смирнова, увеличивать однородность статистических свойств рассматриваемых процессов рыночной динамики.

В рамках поставленной задачи по разработке универсально применимого метода первоначальной агрегации финансовых рядов, позволяющего увеличивать однородность статистических свойств процесса их динамики, была рассмотрена существующая теоретическая концепция относительности временного фактора на финансовом рынке.

В общем виде данная концепция основывается на использовании специальной шкалы рыночного времени, отличающегося от астрономического скоростью хода, подверженной как случайным, так и периодическим изменениям, происходящим под воздействием объема (плотности) возникающих рыночных событий, таких как выход различного рода новостей, носящих, в частности, важный экономический или политический характер, наступление определенных, присущих конкретному рынку, структурных изменений, влияющих на рыночную активность, и т.д. Исходя из того, что количество происходящих рыночных событий отличается для различных интервалов астрономического времени, концепцию относительности рыночного времени можно сформулировать следующим образом: рыночное время ускоряется с ростом объема происходящих событий и замедляется в случае его снижения. В свою очередь, изменяющийся

характер скорости течения рыночного времени приводит к неоднородности статистических свойств финансовых рядов и, следовательно, к осложнению задачи их моделирования и прогнозирования.

Существующие исследования на тему практической реализации описанной концепции сводятся к представлению различных путей проведения процедуры агрегации финансовых рядов, называемой приведением их к виду равного рыночного времени и опирающейся на использование количественного показателя, иллюстрирующего объем прошедших рыночных событий и являющегося функцией объема торгов, расстояния, пройденного ценой, суммы квадратов ее приращений или астрономического времени. Несмотря на общую привлекательность подобного подхода к первоначальной агрегации данных, в работе показано, что все отмеченные способы ее осуществления позволяют увеличивать однородность статистических свойств исследуемого процесса исключительно путем снижения объема получаемого ряда равного рыночного времени, что в свою очередь приводит к потере исходной информации о его характеристических особенностях и присутствующих эффектах. Также было установлено, что максимизация однородности статистических свойств исходного процесса без возникновения подобной потери информации возможна исключительно при агрегации данных по волатильности. В соответствии с полученным результатом был предложен новый универсально применимый метод первоначальной агрегации данных в рамках рассмотренной концепции относительности скорости хода времени на финансовых рынках, позволяющий улучшать способности любых описательных и прогнозных моделей к адекватному отражению процесса рыночной динамики.

В общем виде процедура агрегации финансовых рядов с помощью предложенного метода состоит в следующем: каждое последовательное значение ряда равного рыночного времени берется из исходного ряда, при выполнении условия $\rho \geq tres$, отражающего превышение агрегирующей функцией волатильности ρ заданного порога, обозначенного переменной $tres$. В свою очередь, выбор данного порога определяется путем одновременного анализа двух показателей: значения тестовой статистики

Колмогорова-Смирнова K_f для абсолютных доходностей преобразованного ряда и специально введенного параметра MAX / AVG , отражающего отношение максимального расстояния между последовательными значениями преобразованного ряда с точки зрения астрономического времени к среднему. Величины данных показателей вычисляются для каждого значения параметра $tres$, получаемого с определенным шагом, зависящим от размера вариации агрегирующей функции волатильности, использование которой, как было отмечено, представляет собой отличительную черту предложенного метода и обладает следующим продемонстрированным в работе преимуществом: для агрегированных по волатильности рядов значение статистики K_f имеет глобальный минимум, а параметр MAX / AVG от одного до нескольких ярко выраженных локальных максимумов, в то время как данные экстремумы отсутствуют для всех рассмотренных в работе альтернативных агрегирующих функций, в том числе из представленных в существующей литературе.

Общий смысл минимального значения статистики K_f заключается в том, что для соответствующего ему порогового параметра агрегации $tres$ получаемый ряд равного рыночного времени будет обладать максимальной однородностью статистических свойств, благодаря наиболее близкому к гауссову виду распределению его абсолютных доходностей. В свою очередь, соответствие порога агрегации $tres$ одному из локальных максимумов параметра MAX / AVG отражает ситуацию исключения из данных целого кластера волатильности без искажения информации об общей структуре процесса, что детальным образом объяснено в работе.

Апробация метода была проведена на примере трех рынков USDJPY, USDRUB и EURUSD, обладающих широким разбросом по волатильности, за период первых 10 месяцев 2017 года. В качестве примера полученных результатов на рисунках 1 – 2 приведена графическая иллюстрация применения метода для пар USDJPY и USDRUB, для которых значения параметров $tres$ составили 0,00007 и 0,0002 соответственно.

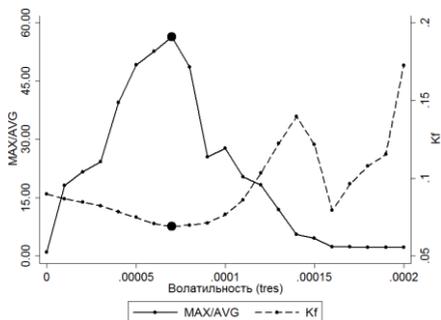


Рисунок 1 – Иллюстрация метода на примере USDJPY

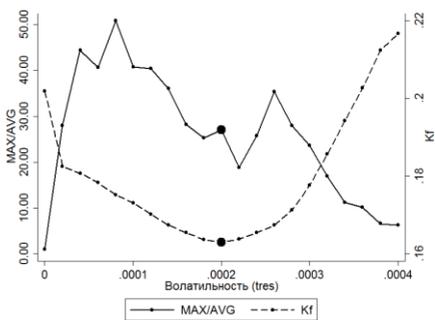


Рисунок 2 – Иллюстрация метода на примере USDRUB

Применение предложенного метода по предварительной агрегации финансовых рядов позволило значительным образом улучшить прогнозные способности построенного в работе комплекса экономико-математических моделей, описанного далее.

2. Разработаны экономико-математические модели временных рядов финансового рынка, учитывающие в качестве основных элементов концепции технического анализа трендовые, моментные и стохастические локально-уровневые закономерности рыночного ценообразования, а также позволяющие использовать любые методы эконометрического оценивания, адекватные свойствам рассматриваемых процессов, обеспечивая получение дополнительного эффекта в достоверности прогнозов и обоснованности соответствующих торговых решений.

В работе показано, что традиционные подходы к принятию торговых решений на финансовом рынке, сводящиеся к использованию либо математических методов моделирования и прогнозирования рыночной динамики, либо методов технического анализа, обладают определенными недостатками. В частности, недостатком подхода, базирующегося на использовании математических методов, является то, что прогнозирование будущего движения цены, как правило, осуществляется в соответствии с некоторой функцией, аппроксимирующей рассматриваемый финансовый ряд на всей обучающей выборке данных, при этом не различающей рыночные эффекты, связанные с

одновременным присутствием долгосрочных и краткосрочных тенденций, а также их различных комбинацией в виде исторических паттернов. В свою очередь, приемы технического анализа позволяют выявлять информацию, содержащуюся в подобных паттернах, однако недостатком основанного на их использовании подхода к принятию торговых решений является отсутствие в современных научных исследованиях каких-либо единых способов или методик, предоставляющих возможность участникам рынка формировать схожие прогнозы будущей ценовой динамики на основе сопоставления ее текущих состояний с аналогичными состояниями в исторических данных.

В соответствии с этим была выдвинута гипотеза о возможности повышения достоверности в описании закономерностей рыночной динамики и обоснованности принимаемых торговых решений на основе комплексного подхода, синтезирующего преимущества адекватных рассматриваемым процессам методов, принадлежащих каждому из отмеченных традиционных подходов. Основу этого синтеза составили эконометрические модели, функциональная форма которых математически реализует приемы технического анализа и методы стохастического моделирования.

Построение представленного в диссертационном исследовании комплекса прогнозных экономико-математических моделей было проведено путем совершенствования уже существующей модели Джаблонска-Капассо-Морале (Jablonska-Capasso-Morale) или JCM модели, основанной на проведении аналогий между закономерностями поведения участников торгов финансового рынка и поведением членов животной популяции, при этом использующей элементы аппарата дифференциального исчисления схожего с применяемым в области гидродинамики. Подробный анализ логики получения модели представлен в диссертации.

В общем виде модель JCM описывается следующей формулой:

$$dY_t^k = \{\gamma_t \cdot [Y_t^* - Y_t^k] + \theta_t \cdot [h(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + \xi_t \cdot [r(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k]\} dt + \sigma_t \cdot dW_t^k, \quad (1)$$

где Y_t^k – цена, выставленная в ордере участника k в момент времени t ; Y_t^* – глобальный уровень разворота цены в момент времени t или, другими словами, ее равновесный уровень;

$\gamma_t \cdot [Y_t^* - Y_t^k]$ – составляющая системы, иллюстрирующая учет участником рынка уровня равновесной цены Y_t^* ; $\theta_t \cdot [h(k, Y_t) - Y_t^k]$ – составляющая системы, иллюстрирующая стремление участника к достижению дополнительной прибыли, $h(k, Y_t) = E(Y_t) \cdot [E(Y_t) - M(Y_t)]$ – функция, представляющая собой отклонение между средней ценой в ордерах всех участников рынка $E(Y_t)$ и наиболее часто повторяющейся ценой (модой) $M(Y_t)$ в каждый момент времени t ; $\xi_t \cdot [r(k, Y_t) - Y_t^k]$ – составляющая, отвечающая за влияние на процесс выставления участником цены Y_t^k значения наиболее удаленной цены $r(k, Y_t)$, принадлежащей окрестности цены данного участника, формируемой как определенный процент от популяции; W_t^k и σ_t – винеровский процесс для участника k и его стандартное отклонение в момент времени t соответственно.

Важнейшим качеством данной модели, обращаящим на себя внимание, является учет традиционных среди участников финансового рынка принципов принятия торговых решений на основе ожиданий будущего возврата цены к своему фундаментальному, равновесному значению либо ее дальнейшего движения в соответствии с предыдущей тенденцией. Однако модель JCM имеет и серьезные недостатки. Далее приведено описание данных недостатков и соответствующих им преобразований, проведенных в работе в целях их исправления и послуживших созданию комплекса новых экономико-математических моделей:

1. Ограниченность размером и структурой исследуемого множества участников рынка. Полученная в рамках подхода Лагранжа, описанного в диссертационной работе, модель JCM (1) является применимой лишь для небольшого множества участников рынка (членов популяции), при условии неизменности размера данного множества во времени. Однако, финансовые рынки, за исключением ряда случаев, также отмеченных в работе, включают в себя значительное множество гетерогенных участников, размер которого постоянно меняется во времени. Такие участники, обладая различными финансовыми возможностями, целями, располагаемой информацией, скоростью отправления торговых ордеров, в том

числе с использованием роботов, не могут считаться одинаковыми элементами большой популяции.

Соответствующее проведенное в работе преобразование заключено в замене понятия «участника» торгов на «множество участников», или, другими словами, на их агрегированный эффект. Таким образом, элемент исходной модели Y_t^k вместо определенной цены в ордере участника k в новых построенных моделях представляет собой средневзвешенную цену всех участников торгов на момент времени k . Соответственно, каждый период времени t был разделен на одинаковые промежутки времени меньшей длины k , содержащие данную средневзвешенную цену Y_t^k .

2. Ограниченность в учете таких элементов технического анализа как наличие тренда, отражающего результат коллективного поведения значительного кластера участников рынка, и присутствие исторических ценовых уровней, воздействующих на поведение цены, при ее нахождении в определенных локальных окрестностях подобных уровней.

Соответствующие проведенные в работе преобразования свелись к добавлению в уравнение (1) составляющей, учитывающей направление тренда и вычисляемой как среднее значение для двух последовательных градиентов равновесной цены $\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} [Y_t^* + Y_{t-1}^*]$, и составляющих, контролирующих эффект нахождения цены в локальных областях исторических торговых уровней путем использования характеристических компонент моделей локального уровня μ_i и локального уровня μ_i с дрейфом ϕ_i .

В общем виде построенный комплекс экономико-математических моделей представляется следующим образом:

Модель 1 (базовая):

$$dY_t^k = \{\gamma \cdot [Y_t^* - Y_t^k] + \theta \cdot [h(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + f(k, \mathbf{Y}_t)\} dt, \quad (2)$$

$$f(k, \mathbf{Y}_t) = \xi \cdot [r(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + \beta \cdot \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} [Y_t^* + Y_{t-1}^*] + \varepsilon_t, \quad (3)$$

Модель 2 (локального уровня):

$$dY_t^k = \{\gamma \cdot [Y_t^* - Y_t^k] + \theta \cdot [h(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + f(k, \mathbf{Y}_t)\} dt, \quad (4)$$

$$f(k, \mathbf{Y}_t) = \xi \cdot [r(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + \beta \cdot \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} [Y_t^* + Y_{t-1}^*] + \mu_i, \quad (5)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (6)$$

Модель 3 (локального уровня с дрейфом):

$$dY_t^k = \{\gamma \cdot [Y_t^* - Y_t^k] + \theta \cdot [h(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + f(k, \mathbf{Y}_t)\} dt, \quad (7)$$

$$f(k, \mathbf{Y}_t) = \xi \cdot [r(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + \beta \cdot \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} [Y_t^* + Y_{t-1}^*] + \mu_t, \quad (8)$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \phi_t, \quad (9)$$

$$\phi_t = \phi_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (10)$$

где Y_t^k – средневзвешенная цена за промежуток времени k , находящийся внутри более длительного периода времени t ; Y_t^* – значение равновесной (справедливой) цены в момент времени t ; \mathbf{Y}_t – вектор, содержащий значения всех средневзвешенных цен для каждого промежутка k , принадлежащего периоду t ; $\gamma \cdot [Y_t^* - Y_t^k]$ – диффузионная составляющая системы, иллюстрирующая стремление рынка к достижению равновесной устойчивой цены Y_t^* , $\theta \cdot [h(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k]$ – составляющая системы, иллюстрирующая присутствие моментного эффекта в процессе ценообразования, состоящего в явлении «гонки» участников за дополнительной прибылью, и представляющая собой отклонение между средней ценой в ордерах всех участников рынка и наиболее часто повторяющейся ценой в каждый момент времени t ; $h(k, \mathbf{Y}_t) = E(\mathbf{Y}_t) \cdot [E(\mathbf{Y}_t) - M(\mathbf{Y}_t)]$ – соответствующая моментная функция, использующая среднее $E(Y_t)$ и моду $M(Y_t)$ случайной величины Y_t ; $f(k, \mathbf{Y}_t)$ представляет собой внешнюю воздействующую силу, состоящую из $\xi \cdot [r(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k]$ – компоненты, отвечающей за влияние на текущую цену Y_t^k наиболее удаленного элемента $r(k, \mathbf{Y}_t)$, и $\beta \cdot \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} [Y_t^* + Y_{t-1}^*]$ – компоненты тренда, а также μ_t и ϕ_t – компонент локального уровня и дрейфа, зависящих в любой момент времени t от своих предыдущих значений μ_{t-1} и ϕ_{t-1} и отвечающих за влияние на текущую цену Y_t^k ее локальных областей нахождения, в том числе исторических торговых уровней. Ошибки $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ являются независимыми и одинаково распределенными.

Оценка коэффициентов γ , θ , ξ и β была проведена с помощью простого фильтра Калмана и фильтра Калмана со встроенной нейронной сетью, обученной с помощью порогового алгоритма обратного распространения ошибки (RPROP) и представляющей собой персептрон с четырьмя нейронами на входе, одним на выходе и одним скрытым слоем, а также сигмидой единичной крутизны в виде активационной функции. В качестве данных для построения были использованы оригинальные ряды равного астрономического времени и агрегированные в соответствии с предложенным методом ряды равного рыночного времени валютных пар USDJPY, USDRUB и EURUSD, взятых за период первых 10 месяцев 2017 года. В целях иллюстрации в таблице 1 приведены результаты оценки коэффициентов моделей с помощью фильтра Калмана с нейронной сетью на примере валютной пары USDRUB.

Таблица 1 – Оценки коэффициентов моделей 1, 2 и 3

Время:		Астрономическое			Рыночное		
Модель	Коэффициент	Значение	Ст. ошибка	р-значение	Значение	Ст. ошибка	р-значение
Модель 1	γ	0,637	0,023	0,000	0,317	0,004	0,000
	θ	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000
	ξ	0,010	0,004	0,017	0,062	0,003	0,000
	β	-0,009	0,000	0,000	-0,003	0,000	0,000
Модель 2	γ	0,630	0,004	0,000	0,319	0,001	0,000
	θ	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	ξ	0,023	0,002	0,000	0,064	0,001	0,000
	β	-0,011	0,001	0,000	-0,003	0,000	0,000
	σ_{ξ}^2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Модель 3	γ	0,628	0,004	0,000	0,322	0,002	0,000
	θ	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	ξ	0,033	0,002	0,000	0,064	0,001	0,000
	β	-0,013	0,001	0,000	-0,063	0,010	0,000
	σ_{ξ}^2	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Приведенные результаты свидетельствуют о статистической значимости оцененных коэффициентов, значения которых можно

использовать для представления моделей в удобном для реального использования виде (на примере рыночного времени):

Модель 1 (базовая):

$$dY_t^k = \{0,317 \cdot [Y_t^* - Y_t^k] + 0,000 \cdot [h(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + 0,062 \cdot [r(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] - 0,003 \cdot \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} [Y_t^* + Y_{t-1}^*]\} dt. \quad (11)$$

Модель 2 (локального уровня):

$$dY_t^k = \{0,319 \cdot [Y_t^* - Y_t^k] + 0,000 \cdot [h(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + 0,064 \cdot [r(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] - 0,003 \cdot \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} [Y_t^* + Y_{t-1}^*]\} dt. \quad (12)$$

Модель 3 (локального уровня с дрейфом):

$$dY_t^k = \{0,322 \cdot [Y_t^* - Y_t^k] + 0,000 \cdot [h(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] + 0,064 \cdot [r(k, \mathbf{Y}_t) - Y_t^k] - 0,063 \cdot \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} [Y_t^* + Y_{t-1}^*]\} dt. \quad (13)$$

Несмотря на то, что коэффициенты моделей имеют приблизительно одинаковые значения, сами модели обладают различными прогнозными способностями, проиллюстрированными в таблице 2, содержащей значения процента правильных направлений прогнозов моделей 1, 2 и 3 в сопоставлении с прогнозами модели случайного блуждания (RW).

Таблица 2 – Результаты прогнозных способностей моделей 1, 2 и 3

Процент правильных направлений прогноза				
Тип модели	Астрономическое время		Рыночное время	
	Модель	RW	Модель	RW
Модель 1	58,0%	46,5%	71,8%	50,7%
Модель 2	57,3%		71,5%	
Модель 3	55,3%		70,1%	

Приведенные результаты демонстрируют высокие прогнозные способности построенных экономико-математических моделей на примере рынка USDRUB по сравнению с моделью случайного блуждания (RW) с точки зрения одного из важнейших качественных показателей – процента правильных направлений прогноза, свидетельствующего о достоверности описания моделями закономерностей рыночной динамики. Аналогичные результаты были получены для всех рассмотренных в диссертационном исследовании валютных пар, в том числе USDJPY и EURUSD.

Структура моделей позволяет учитывать трендовые, моментные и стохастические локально-уровневые эффекты рыночного ценообразования, а также применять предложенный метод предварительной агрегации финансовых рядов. Верификация моделей на реальных исторических данных международного валютного рынка продемонстрировала их значительные возможности по достоверному описанию рыночных закономерностей, что, в свою очередь, свидетельствует об их применимости в рамках комплексного подхода к принятию торговых решений.

3. Создана автоматизированная система для популярной среди участников финансового рынка платформы MetaTrader 4, позволяющая формировать торговые решения, используя предложенный метод агрегации финансовых рядов и прогнозы разработанных экономико-математических моделей, и совершать соответствующие этим решениям торговые операции без непосредственного участия пользователя, но под его контролем.

В рамках поставленной в диссертационном исследовании задачи по прикладной реализации разработанных экономико-математических моделей с помощью инструментальных средств была создана автоматизированная торговая система, основанная на прогнозах модели 1 из построенного комплекса с применением предложенного метода первоначальной агрегации финансовых рядов. Разработка системы была проведена на базе популярной среди участников финансового рынка торговой платформы MetaTrader 4 (MT 4) со встроенным языком программирования MQL. Программный код созданной системы находится в приложении к диссертации и может быть использован любым пользователем платформы MT 4. В вычислительную логику системы заложены следующие пользовательские опции:

1. Прогнозы модели 1 могут формироваться в соответствии с одним из двух вычислительных механизмов – «абсолютного эффекта» или «присутствия эффекта», отличие между которыми состоит в использовании абсолютных значений предикторов или знаков их приращения соответственно.

2. Система позволяет осуществлять торговые операции в рамках ограниченного или неограниченного горизонта

прогнозирования, отличие между которыми состоит в выходе из торговой сделки через заранее заданное пользователем время или после получения прогноза будущего направления движения цены, противоположного направлению открытой ранее позиции.

Для апробации экономических возможностей системы были использованы международный валютный рынок FOREX и смежный с ним рынок бинарных опционов для рассмотренных в работе валютных пар USDJPY, EURUSD и USDRUB за период с 2012 по 2017 год. В диссертационной работе детально описаны основные параметры проведенного тестирования, включающие установленные размеры брокерских спредов, торговых лотов, тестового депозита и т.д. Результирующие доходности (процент от размера тестового депозита) за 2017 год при торговле на рынке FOREX с использованием половины средств депозита парами USDJPY, EURUSD и USDRUB составили 29,6%, 23,8% и 18,2% соответственно, в свою очередь, среднегодовая доходность для всех рассмотренных пар за период с 2012 по 2016 составила 15,2%. В результате применения системы для торговли на смежном с рынком FOREX рынке бинарных опционов парами USDJPY, EURUSD и USDRUB доходности за 2017 год составили 24,3%, 20,3% и 17,9% соответственно, в свою очередь, среднегодовая доходность для всех рассмотренных пар за период с 2012 по 2016 составила 14,5%.

4. Разработаны процедуры обучения автоматизированных торговых систем для платформы MetaTrader 4, состоящие в согласованном применении заложенных в платформу целевых функций оптимизации генетическим алгоритмом и способов последующего выбора подходящего сценария, содержащего значения оптимизируемых параметров обучаемой системы, обеспечивающих наилучшую результативность ее реального практического использования.

В общем виде процесс обучения автоматизированных торговых систем, в частности на платформе МТ 4, может быть сведен к последовательности следующих действий: выбор целевой функции оптимизации, проведение соответствующей оптимизации на исторических данных и получение спектра сценариев, содержащих значения оптимизируемых параметров обучаемой системы, выбор подходящего сценария. В силу того, что подобные спектры для любой целевой функции могут содержать значительное число

сценариев в зависимости от количества оптимизируемых параметров и частоты их дискретизации, возникает необходимость выработки определенных процедур обучения, позволяющих делать адекватный выбор как целевой функции, так и подходящего сценария, обеспечивающего обучаемым системам наилучшую результативность их последующего использования. В работе была проведена разработка универсальных процедур обучения автоматизированных торговых систем на базе генетического алгоритма платформы МТ 4, обеспечивающих соответствующим системам наилучшую результативность их реального практического использования в зависимости от логики формирования ими торговых решений, связанной с выбором горизонта прогнозирования. Основные полученные результаты могут быть описаны следующим образом в терминах «profit factor» и «expected payoff», обозначающих в МТ 4 целевые функции прибыльности и математического ожидания сделок соответственно:

1. Для систем с ограниченным горизонтом прогнозирования наиболее перспективным, с точки зрения финансовой результативности, является обучение с использованием целевой функции оптимизации «profit factor» и при открытии исключительно односторонних позиций. Поиск подходящего сценария необходимо проводить в области предварительно отсортированного по убыванию чистой прибыли сценарного спектра, соответствующей минимальным значениям соотношения размера данной прибыли к максимальной просадке счета.

2. Для систем с неограниченным горизонтом прогнозирования наиболее перспективным, с точки зрения финансовой результативности, является обучение с использованием целевой функции оптимизации «expected payoff». Поиск подходящего сценария необходимо проводить в области предварительно отсортированного по убыванию чистой прибыли сценарного спектра, соответствующей средним значениям соотношения размера данной прибыли к максимальной просадке счета.

5. Разработан метод, позволяющий повышать адаптируемость автоматизированных торговых систем к постоянно меняющимся конъюнктурным особенностям рыночной динамики и улучшать результативность их реального практического использования за счет агрегации

прогнозов математических моделей и инструментов технического анализа с учетом оценки адекватности каждого прогноза конъюнктуре рассматриваемого рыночного процесса, формируемой путем обучения соответствующей системы на исторических данных.

Простейшим способом объединения любых прогнозных моделей и инструментов технического анализа является их одновременное применение для подтверждения того или иного прогноза направления движения цен на финансовом рынке. Однако, эффективность подобного простого подтверждения в ряде случаев, описанных в диссертационной работе, может значительно снижаться в силу индивидуального характера зависимости возможностей рассматриваемых способов прогнозирования от постоянно меняющихся условий рыночной конъюнктуры.

В работе предложен метод агрегации прогнозов рыночной динамики, базирующихся на использовании математических моделей и инструментов технического анализа, позволяющий путем вариации присвоенных им весов и критериев принятия торговых решений с помощью генетического алгоритма МТ 4 подстраивать чувствительность автоматизированных систем к особенностям конъюнктуры рассматриваемого финансового рынка и улучшать результативность их реального практического использования. В общем виде разработанный метод состоит из следующих шагов:

Шаг 1: Всем используемым прогнозам присваивается отвечающая переменная, которая может принимать как фиксированные значения (1 или -1 для сигналов на покупку или продажу соответственно), так и значения, функциональным образом зависящие от исторических величин соответствующего предиктора.

Шаг 2: Для каждой переменной из шага 1 путем проведения процедуры оптимизации определяется вес, меняющийся со временем и отражающий значимость данного предиктора относительно остальных для выбранного финансового рынка и периода времени.

Шаг 3: Все переменные умножаются на соответствующие им веса, а полученные значения складываются. Итоговая сумма сравнивается с заданными пороговыми критериями принятия торговых решений о покупке и продаже.

В соответствии с данным методом созданная для платформы MT 4 автоматизированная торговая система была модифицирована следующим образом: используемые системой прогнозы модели 1 из построенного комплекса были агрегированы с прогнозами, получаемыми от одного из наиболее популярных инструментов технического анализа – индикатора CCI (Commodity Channel Index). Результирующие доходности за 2017 год при торговле на рынке FOREX парами USDJPY, EURUSD и USDRUB составили 32,1%, 27,9% и 23,4% соответственно, в свою очередь, среднегодовая доходность для всех рассмотренных пар за период с 2012 по 2016 составила 16,6%. В результате применения системы для торговли на смежном с рынком FOREX рынке бинарных опционов парами USDJPY, EURUSD и USDRUB доходности за 2017 год составили 25,9%, 21,7% и 19,4% соответственно, в свою очередь, среднегодовая доходность для всех рассмотренных пар за период с 2012 по 2016 составила 15,8%.

6. Проведена верификация разработанных моделей и апробация созданной на их основе автоматизированной торговой системы на реальных исторических данных международного валютного рынка.

Проведенная процедура верификации разработанных моделей подтвердила возможности их использования для прогнозирования динамики финансовых рядов, на примере котировок USDJPY, EURUSD и USDRUB за 2017 год, с точностью, измеряемой процентом правильных направлений прогноза, превышающей точность прогнозов модели случайного блуждания в среднем на 10% для исходных рядов и на 18% для рядов, первоначально агрегированных с помощью предложенного метода.

В свою очередь, апробация созданной автоматизированной системы, состоящая в осуществлении тестовых торговых операций на трех рассмотренных валютных рынках за период с 2012 по 2017 год, продемонстрировала возможности ее использования для получения среднегодовой доходности, превышающей доходность описанных в работе традиционных подходов к торговле в среднем на 8%, а доходность банковских вкладов на 15%, в условиях отсутствия реинвестирования и использования половины средств начального торгового депозита.

III. Заключение

В заключении диссертации представлены наиболее важные положения проведенного исследования, полученные результаты и сформированные на их основе выводы о преимуществах разработанного комплексного подхода к принятию обоснованных торговых решений за счет точности в описании рыночных закономерностей и о потенциальных направлениях дальнейших научных исследований по этой тематике. Также приведены рекомендации по эффективному использованию разработанной автоматизированной системы для проведения торговых операций на международном валютном рынке любыми заинтересованными пользователями платформы MetaTrader 4.

IV. Список основных публикаций автора по теме диссертации

Статьи из рецензируемых научных изданий:

1. Мусин, А. Р. Методика приведения временных рядов к виду равного рыночного времени для построения прогнозных моделей на финансовом рынке / А. Р. Мусин // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 12. – ч. 3. – С. 625-630.

2. Мусин, А. Р. Сравнение качества прогнозных моделей валютного рынка с применением Калмановской фильтрации и традиционных моделей временных рядов / А. Р. Мусин // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – т. 9. – № 3. – С. 1-11.

3. Мусин, А. Р. Применения теории турбулентного состояния жидкостей и газов для описания и прогнозирования динамики финансового рынка / А. Р. Мусин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 9. – С. 35-39.

4. Мусин, А. Р. Применение математической модели турбулентного движение жидкости для прогнозирования значений обменных курсов / А. Р. Мусин // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2017. – т. 6. – № 2 (19). – С. 200-203.

5. Мусин, А. Р. Экономико-математическая модель прогнозирования динамики финансового рынка / А. Р. Мусин // Статистика и Экономика. – 2018. – т. 15. – № 4. – С. 61-69.

6. Мусин, А. Р. Пути обучения автоматизированных торговых систем финансового рынка / А. Р. Мусин // Экономика и

управление: проблемы, решения. – 2018. – т. 3 (81). – № 9. – С. 139-146.

7. Мусин, А. Р. Метод увеличения эффективности автоматизированных торговых систем на основе агрегации прогнозных моделей финансового рынка / А. Р. Мусин // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 9. – С. 936-939.

Статьи из других изданий:

8. Мусин, А. Р. Проблема нестационарности временных рядов при построении эконометрических моделей на данных финансового рынка / А. Р. Мусин // Научные исследования и разработки молодых ученых: сборник материалов XV Международной молодежной научно-практической конференции (7 декабря, 2016 г) – Новосибирск : «НГТУ», 2016. – № 15. – С. 158-165.

9. Мусин, А. Р. Использование фильтра Калмана для построения прогнозных моделей на данных финансового рынка / А. Р. Мусин // Прикладные статистические исследования и бизнес-аналитика: сборник материалов II Международной научной конференции (12-20 декабря 2016 г.) – М. : «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2016. – С. 175-178.

10. Мусин, А. Р. Исследование путей улучшения прогнозных способностей моделей временных рядов финансового рынка / А. Р. Мусин // Статистические методы исследования социально-экономических и экологических систем региона: материалы I Международной научно-практической конференции (26-27 октября 2017 г.) – Тамбов : «ТГТУ», 2017. – С. 306-309.

11. Сорокин, А. С., Мусин А. Р. К вопросу применения фильтра Калмана в эконометрических моделях / А. С. Сорокин, А. Р. Мусин // Научно-аналитический журнал Наука и практика Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. – 2017. – № 1 (25). – С. 71-76.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

12. Мусин, А. Р. Алгоритмический волновой торговый советник / А. Р. Мусин, А. С. Сорокин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018610604. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 12 января 2018 г.