

На правах рукописи



КРИВОНОСОВА ЕКАТЕРИНА КОНСТАНТИНОВНА

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА
КРЕДИТНЫХ И ИНВЕСТИЦИОННЫХ РИСКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ФРАКТАЛЬНЫХ И МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Пермь 2015

Работа выполнена на кафедре прикладной математики факультета прикладной математики и механики ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Первадчук Владимир Павлович
Официальные оппоненты	Акбердина Виктория Викторовна, доктор экономических наук, доцент, ФГБУН «Институт экономики УрО РАН», заведующая отделом региональной промышленной политики и экономической безопасности, г. Екатеринбург Ивлиев Сергей Владимирович, кандидат экономических наук, ЗАО «Прогноз», заместитель генерального директора по науч- ным исследованиям, г. Пермь
Ведущая организация	ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

Защита состоится «13» октября 2015 г. в 13 часов 30 мин. на заседании диссертационного совета ДМ 212.188.09 на базе ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» и ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» по адресу: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, дом 29, аудитория 423б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках и на сайтах ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (<http://www.pstu.ru>) и ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (<http://www.psu.ru>).

Автореферат разослан «13» августа 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДМ 212.188.09
кандидат экономических наук, доцент



Жуланов Е.Е.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Прогнозирование на сегодняшний день является наиболее важной и актуальной проблемой в экономической сфере: финансовые рынки, инвестиционная и кредитная деятельность – эти отрасли нуждаются в качественной оценке рисков и в составлении корректных прогнозов. Классические подходы к анализу рисков финансового рынка и экономических единиц, такие как фундаментальный и технический анализ, зачастую подвергаются перекрестной критике и имеют ряд недостатков, главный из которых, замеченный основателем фрактальной геометрии Б. Мандельбротом, заключается в том, что эти подходы не допускают возможности резких скачков или обвалов рынков. Портфельная теория, цель которой – максимизация отдачи для данного уровня риска, обращается с чрезвычайными ситуациями с некоторым пренебрежением: большие рыночные изменения признаны слишком маловероятными, чтобы они имели значение, поэтому их не принимают во внимание. Однако реальный финансовый рынок демонстрирует периодические «обвалы» и резкие скачки, он нелинеен, и характер его поведения очень напоминает поведение стохастических систем.

В отличие от гипотезы эффективного рынка, сторонники гипотезы фрактального рынка, развитой Э. Петерсом, утверждают, что широкий спектр инвестиционных горизонтов есть причина мультифрактальности активов. Количественно это можно оценить при помощи специального прогнозного индикатора, который в обычной ситуации характеризуется низким значением. Большие движения актива или рынка в целом сопряжены с резким сокращением спектра инвестиционных горизонтов, что приводит к более «гладкому» поведению временного ряда. Это, в свою очередь, приводит к резкому росту прогнозного показателя, который реагирует на изменение гладкости временных рядов. Таким образом, вычисляя прогнозный индикатор, можно сделать предположение о возникновении критических точек в будущем. В связи с этим актуальной становится проблема использования мультифрактального подхода в области оценки инвестиционных и кредитных рисков.

Решение проблем оценки стабильности предприятия и прогнозирования критических состояний экономической системы представляет особый интерес для сферы кредитования и инвестирования, а применение методов фрактального и мультифрактального анализа дает новое понимание природы экономических процессов как нелинейных систем и делает доступными многие инструменты, не применявшиеся к исследованию экономических единиц в рамках классических подходов.

Степень разработанности проблемы. Проблема анализа стабильности предприятий как экономических систем обсуждалась в современных работах последователей фундаментального анализа – М.В. Ефимова, Я.В. Русяева; технического анализа – М.В. Киселева, А.И. Зайцева, С.Н. Володина; статистического подхода – Е.В. Юминой; вейвлет-анализа – Н.В. Слинковой. Анализом стабиль-

ности предприятий при помощи инструментов фрактального анализа занимались А.А. Марков, С.У. Увайсов, Ю.Н. Журавлева, С.П. Палий.

Проблема прогнозирования критических событий экономических систем обсуждалась в современных работах сторонников статистического подхода – Е. Балабан, А. Баяр, Р.В. Фафф, В.А. Силаевой, А.М. Силаева, Чонг Ви, Нанко Гонпот, Н. Сокья, Сулейман Закария, Сулейман Абдалла и П. Винкера; нейросетевого анализа – К. Нигрена, М. Маджумдера, А. Хуссейна, А. Адебии, М. Адебии, С. Отокити, В.Е. Селянина; спектрального и вейвлет-анализа – Ф. Массе, М.А. Арино, М. Педро, В. Видаковича, А. Оссема, Д. Кэмпбелла, Ф. Мурта, С.А. Чижикова.

Прогнозированию при помощи методов фрактального и мультифрактального анализа были посвящены работы Т. Люкса, Т. Кайзоджи, Л. Кальве, А. Фишера, Ф. Шмидта, Д. Шерцера, С. Лавджой, Е. Грин, В. Ханана, Д. Хоффмана, Ю.А. Куперина, Р.Р. Счастливецва, И.А. Агаева, М.В. Прудского, З.И. Янчушки, О.Ю. Урицкой, С.С. Белякова, К.А. Комиссарова, А.А. Маркова, А. Капецки, Н.В. Старченко, М.М. Дубовикова, А.В. Крянева, М. Маккинзи, М. Хорасанли, А.А. Гачкова, П. Нарияносамы, К. Сентамари, С. Суреш, Л.Р. Болатовой, Р.Х. Узденова, Р.Л. Коста, Г.Л. Васконселоса, С. Кумара, Н. Дэо, Лоса, А. Корнелиса, Р. Яламовой.

Однако проблема оценки степени стабильности предприятий с точки зрения методов фрактального анализа в научной среде проработана мало и нуждается в дополнительных исследованиях.

Проблема прогнозирования критических событий по котировкам акций на фондовом рынке также нуждается в дополнительных исследованиях. В связи с этим становится востребованным расширение области исследования в сторону применения наиболее подходящего для целей прогнозирования крахов и катастроф инструмента мультифрактального анализа.

Объектом исследования являются экономические системы – предприятия всех организационно-правовых форм.

Предметом исследования выступают экономические процессы прогнозирования критических событий в экономических системах.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является расширение функциональных возможностей инструментальных методов анализа степени стабильности предприятий и прогнозирования критических состояний экономических систем с использованием фрактальных и мультифрактальных характеристик для оценки кредитных и инвестиционных рисков. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выбор и адаптация математического алгоритма вычисления фрактальной характеристики для оценки фрактальной стабильности предприятия по данным финансовой отчетности, не требующего большого количества измерений.

2. Установление критических значений и взаимосвязи фрактальной размерности с показателями эффективности хозяйственной деятельности и финансовой устойчивости предприятия. Уточнение понятия фрактальной стабильности предприятия.

3. Разработка экономико-математического алгоритма вычисления степени гладкости временного ряда котировок акций и индексов на фондовом рынке с применением показателя Гёльдера для целей выявления точек смены его тренда и резких скачкообразных изменений.

4. Разработка программного комплекса прогнозирования критических состояний отраслей по индексам фондового рынка и предприятий по котировкам акций для проведения оценки кредитных и инвестиционных рисков на основе авторской методики определения критических точек экономической системы.

Область исследования соответствует паспорту специальности ВАК РФ 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики» по следующим пунктам:

1.4. Разработка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических процессов и систем: отраслей народного хозяйства, фирм и предприятий, домашних хозяйств, рынков, механизмов формирования спроса и потребления, способов количественной оценки предпринимательских рисков и обоснования инвестиционных решений.

1.8. Математическое моделирование экономической конъюнктуры, деловой активности, определение трендов, циклов и тенденций развития.

2.3. Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях.

Теоретическую и методологическую основу исследования составляют труды отечественных и зарубежных ученых в области теории и методологии экономико-математического моделирования с применением компьютерных технологий, анализа кредитных рисков, анализа инвестиционных рисков экономифизики, фрактальной и мультифрактальной теорий. При проведении исследования использованы методы и инструменты фрактального анализа, мультифрактального анализа, статистической обработки данных, финансового анализа, алгебры матриц, инструменты программных продуктов MATLAB.

Информационную базу исследования составили данные о котировках акций на фондовом рынке, ежеквартальная и годовая финансовая отчетность предприятий, а также аналитические материалы, публикуемые в периодической печати.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Развита инструментальные средства оценки стабильности предприятия по фрактальным характеристикам временного ряда выручки, не требующие большого количества измерений по сравнению с подходом, основанным на методе нормированного размаха (R/S -методе), что позволило применить алгоритм определе-

ния фрактальной размерности к показателям финансовой отчетности предприятия и развить методы анализа кредитных рисков. (П. 1.4 *«Разработка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических процессов и систем: отраслей народного хозяйства, фирм и предприятий, домашних хозяйств, рынков, механизмов формирования спроса и потребления, способов количественной оценки предпринимательских рисков и обоснования инвестиционных решений»*, главы 1, 2 и 3, параграфы 1.3, 2.6, 3.1 и 3.2, стр. 30–35, 65–70, 80–89).

2. Предложено понятие фрактальной стабильности предприятия, основанное на свойствах фрактальной размерности, отражающей степень трендоустойчивости временного ряда. Установлены критические значения и взаимосвязь фрактальной размерности с показателями эффективности хозяйственной деятельности и финансовой устойчивости предприятия, что дало возможность развить математические методы анализа кредитных рисков на основе разработанного алгоритма определения фрактальной характеристики. (П. 1.4 *«Разработка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических процессов и систем: отраслей народного хозяйства, фирм и предприятий, домашних хозяйств, рынков, механизмов формирования спроса и потребления, способов количественной оценки предпринимательских рисков и обоснования инвестиционных решений»*, главы 2 и 3, параграфы 2.3, 3.3 и 3.4, стр. 49–57, 90–105).

3. Предложен экономико-математический алгоритм вычисления степени гладкости временного ряда котировок акций и индексов на фондовом рынке с применением показателя Гёльдера для целей выявления точек смены его тренда и резких скачкообразных изменений, определяющих кредитные и инвестиционные риски, что развивает методы оценки гладкости с применением показателя Гёльдера на фондовых рынках, учитывающего изменения инвестиционных горизонтов, за счет введения его ограничения по области допустимых значений. (П. 1.8 *«Математическое моделирование экономической конъюнктуры, деловой активности, определение трендов, циклов и тенденций развития»*, главы 1 и 2, параграфы 1.4.3, 2.4 и 2.7, стр. 38–40, 58–63, 72–74).

4. Разработан программный комплекс прогнозирования критических состояний отраслей по индексам фондового рынка и предприятий по котировкам акций для проведения оценки кредитных и инвестиционных рисков на основе авторской методики определения критических точек экономической системы, представляющий собой систему поддержки принятия решений с учетом экономических рисков, предназначенный для принятия инвестиционных и кредитных решений. (П. 2.3 *«Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях»*, главы 2 и 4, параграфы 2.7 и 4.1–4.4, стр. 74–76, 110–137 диссертационной работы).

Теоретическая значимость диссертации обусловлена ее новизной и заключается в постановке и решении важной для экономики проблемы прогнозирования

временных рядов экономических показателей и разработке новых инструментов оценки кредитных и инвестиционных рисков, в развитии экономико-математических методов при анализе кредитных и инвестиционных рисков и обосновании инвестиционных и кредитных решений.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы кредитными организациями в рамках анализа рисков заемщика и при составлении рейтингов заемщиков в дополнение к классическим скоринговым моделям, инвестиционными компаниями и инвесторами при анализе инвестиционного риска. Фрактальные и мультифрактальные характеристики применены как дополнительный инструмент при анализе кредитоспособности заемщика и составлении кредитного рейтинга заемщиков в кредитующем подразделении пермского отделения № 6984 ОАО «Сбербанк России». Применение данной методики позволило повысить уровень надежности полученных при анализе результатов, что подтверждено Актом о внедрении результатов диссертационного исследования б/н.

Результаты диссертационного исследования были использованы при реализации проекта в рамках программы Производственной Системы Сбербанка, направленного на повышение качества и сокращение сроков рассмотрения кредитных заявок в сегменте «Средний и крупный бизнес». По результатам внедрения проекта получен сертификат ЗП-0400/14.

Также результаты исследования применяются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» при преподавании дисциплин «Эконометрика», «Теория принятия решения», «Методы социально-экономического прогнозирования», что подтверждено Актом внедрения об использовании результатов кандидатской диссертации б/н.

Работа выполнена при поддержке проектной части государственного задания Министерства образования и науки РФ в сфере научной деятельности №11.1196.2014/К от 17.08.2014, а также внутривузовского гранта ПНИПУ согласно приказу № 372-В от 17 февраля 2015 года.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность подходов и выводов подтверждена корректным теоретическим обоснованием приведенных утверждений. Все результаты подтверждены исследованиями, проведенными с использованием реальных данных фондовых рынков и экономических показателей предприятий.

Основные результаты диссертационного исследования были представлены в виде докладов и получили положительную оценку на XI Международной научно-практической конференции «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 2013), на Международном симпозиуме по визуализации, моделированию и методам измерений (Осака, 2014), на II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых

учёных «Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки» (Санкт-Петербург, 2014), а также а XVII Международной научно-практической конференции «Современное состояние естественных и технических наук» (Москва, 2014), на научном семинаре кафедры «Прикладная математика» (Пермь, 2014, 2015), на научном семинаре лаборатории конструктивных методов исследования динамических моделей (Пермь, 2015).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ объемом 3,37 п.л., из них 4 работы, отражающие основные результаты исследования, опубликованы в изданиях, входящих в список ведущих рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для публикации результатов докторских и кандидатских диссертационных работ: «Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки», «Современные проблемы науки и образования», «Наука и бизнес: пути развития», «Тяжелое машиностроение. Математическое моделирование процессов».

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 166 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений, иллюстрирована 5 таблицами и 53 рисунками. Библиографический список содержит 103 наименования литературных источников, в том числе 44 отечественных, 59 зарубежных.

Во **введении** обоснована актуальность проведенного исследования, сформулирована научная новизна, приведены цель и задачи исследования, перечислены наиболее существенные результаты, дана общая характеристика диссертационной работы.

В **первой главе** «Современные подходы к анализу кредитных и инвестиционных рисков» рассмотрены современные и наиболее распространенные методы и инструменты анализа стабильности предприятий в рамках анализа кредитных рисков и прогнозирования состояний финансовых рынков при анализе инвестиционных рисков, выявлены наиболее подходящие направления применения каждого из видов анализа. Приведена классификация методов фрактального и мультифрактального анализа, приведены современные работы в каждом из видов рассмотренных методов анализа.

Во **второй главе** «Теоретическое обоснование применения анализа фрактальных и мультифрактальных свойств для исследования экономических систем» определена цель работы и необходимые для ее достижения задачи. Рассмотрены предпосылки применения инструментов фрактального и мультифрактального анализа к исследованию показателей экономических систем, особенности применения методик изучения свойств фрактальности и мультифрактальности к экономическим системам, приведены основные понятия теории фракталов, используемые для анализа экономических систем. Описаны выбранные для анализа показатели деятельности предприятий и котировок акций на фондовом рынке. Разработан алгоритм определения фрактальных характеристик для исследования стабильности

экономической системы и методика определения и оценки мультифрактальных характеристик для идентификации критических точек ряда котировок акций на фондовом рынке.

В **третьей главе** «Исследование динамики временных рядов экономических показателей при помощи фрактальных характеристик» приведена оценка и сравнение методов анализа фрактальных свойств экономических систем. Алгоритм фрактального анализа стабильности верифицирован на примере котировок акций ОАО «ЛУКОЙЛ» на ММВБ. Проведено исследование динамики показателей деятельности предприятий Приволжского федерального округа при помощи инструментов фрактального анализа. Установлена закономерность между показателем фрактальной размерности и трендом рентабельности.

В **четвертой главе** «Прогнозирование критических точек экономических систем при помощи мультифрактальных характеристик» произведен выбор параметров разработанной модели, разработанная методика верифицирована с применением реальных данных фондового рынка. Осуществлено прогнозирование критических состояний системы при помощи разработанной методики мультифрактального анализа, а также произведен анализ пороговых значений приращений «прогнозного» показателя Гельдера для выявления наиболее точного варианта определения критических состояний экономической системы.

В **заключении** приведены основные выводы, оценено практическое значение и даны рекомендации по дальнейшему развитию разработанных в диссертационной работе методик и моделей.

II. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Развита инструментальная средства оценки стабильности предприятия по фрактальным характеристикам временного ряда выручки, не требующие большого количества измерений по сравнению с подходом, основанным на методе нормированного размаха (R/S -методе), что позволило применить алгоритм определения фрактальной размерности к показателям финансовой отчетности предприятия и развить методы анализа кредитных рисков.

В настоящее время для анализа фрактальных свойств экономических данных чаще используют R/S -метод, который требует достаточно большого количества статистических данных, что делает его применение невозможным в случае анализа финансовой отчетности. Поэтому для анализа фрактальных свойств предприятия по показателям финансовой отчетности был выбран и адаптирован математический алгоритм, не требующий обширного количества измерений, что делает возможным его применение в области анализа кредитных рисков. Проведенные тесты показали, что наиболее корректно для оценки и прогнозирования временных рядов вы-

ручки применять фрактальную размерность, определенную методом покрытия, в нашем случае использован клеточный метод.

Для верификации данного алгоритма были проанализированы временные ряды котировок акций ОАО «ЛУКОЙЛ» на ММВБ по данным BFM SERV за все промежуточные годы в интервале с 1999 по 2008. Конечные данные сведены в схему, показанную на рис. 1.

При фрактальном описании динамики котировок экономических показателей программными средствами MATLAB был реализован алгоритм, описанный в работе Р. Кроновера «Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории».

Проследив изменение динамики фрактальной размерности временного ряда котировок акций ОАО «ЛУКОЙЛ», можно заметить достаточно плавное изменение фрактальной размерности в период 1999–2003 годов, в пределах 1,18–1,20. Резкий подъем фрактальной размерности наблюдался непосредственно перед скачком котировок – в 2005 и в 2008 годах, когда наблюдались резкое изменение котировок на несколько сотен пунктов при сохранении фрактальности, восходящий тренд в 2005 г. и падение в 2008 г. То есть определенное значение фрактальной размерности, в данном случае 1,28–1,29, может использоваться как индикатор кризиса или «флаг» катастрофы.

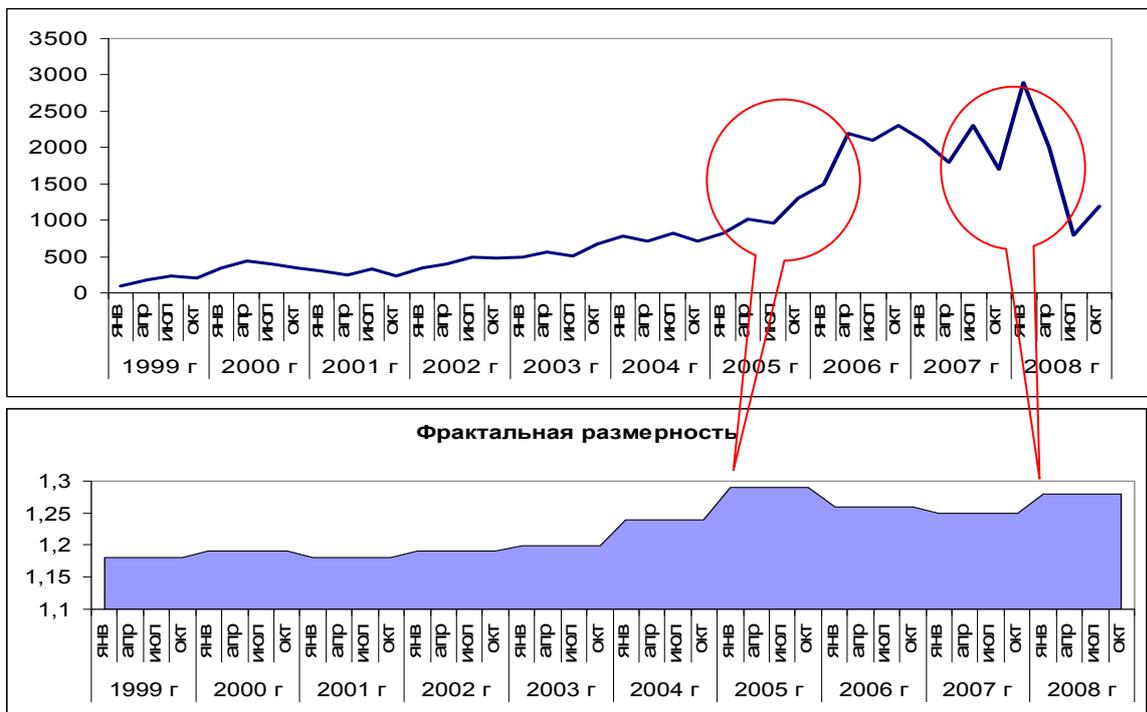


Рис 1. Схема динамики котировок (вверху) и изменение фрактальной размерности временного ряда котировок акций LHOIL (внизу) за десятилетний период: выносками помечены участки, характеризующиеся ростом фрактальной размерности более чем на 5 %

При прогнозировании кризисного развития целесообразно обратить внимание также на предшествующие кризисным этапам периоды – 2004 и 2007 гг., так

называемое предгрозное состояние. Для этих этапов фрактальная размерность составляла 1,24–1,26. Следовательно, существенным является не абсолютное значение фрактальной размерности, а ее относительное изменение более чем на 10 % в течение годового периода. Таким образом, выявлена связь фрактальной размерности D с динамикой, уровнем и состоянием рынка ценных бумаг на примере котировок акций LHOЛ на ММВБ.

2. Предложено понятие фрактальной стабильности предприятия, основанное на свойствах фрактальной размерности, отражающей степень трендостойчивости временного ряда. Установлены критические значения и взаимосвязь фрактальной размерности с показателями эффективности хозяйственной деятельности и финансовой устойчивости предприятия, что дало возможность разработать математические методы анализа кредитных рисков на основе разработанного алгоритма определения фрактальной характеристики.

При проведении анализа фрактальных свойств экономических систем важно корректно интерпретировать основные понятия. Введем понятие стабильности предприятия, основанное на свойствах фрактальной размерности, как способность сохранять определенные закономерности тенденций развития, параметров функционирования и нормальной рабочей волатильности показателей деятельности в условиях изменяющихся внешних факторов. Фрактальная размерность D плоских фракталов, к которым относятся изображения линий котировок, является дробной величиной, изменяющейся в пределах от 1 (геометрическая размерность линии на плоскости) до 2 (геометрическая размерность неполой фигуры на плоскости, например, квадрата). В работах Н.В. Старченко доказано, что при $D = 1,5$ временной ряд является винеровским процессом или коричневым шумом. Основное свойство этого процесса – отсутствие памяти: следующее приращение временного ряда не зависит от всех предыдущих.

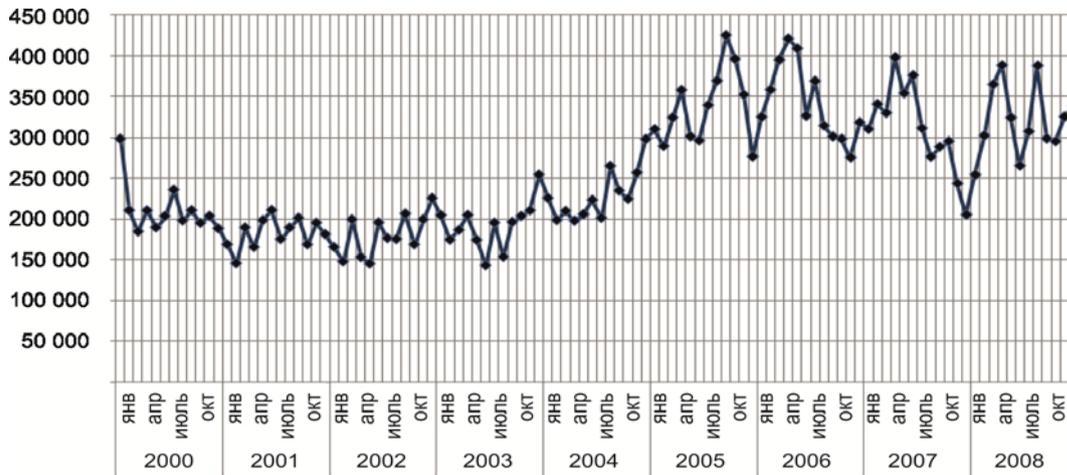
$1,0 < D < 1,5$ подразумевает персистентный временной ряд, который характеризуется эффектами долговременной памяти. Теоретически то, что происходит сегодня, воздействует на будущее. Такая долговременная память имеет место независимо от масштаба времени, а процесс называется розовым шумом. Он характеризуется «отрицательной» памятью: если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью будет наблюдаться отрицательное и наоборот.

$1,5 < D < 2,0$ означает антиперсистентность, процесс называется черным шумом и обладает «положительной» памятью: если в прошлом наблюдалось положительное приращение, то в будущем с высокой вероятностью будет также наблюдаться положительное и наоборот.

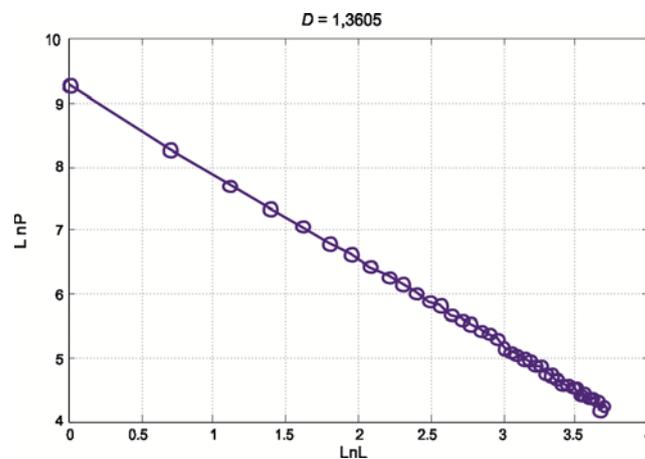
Для проведения исследования были выбраны предприятия, действующие на рынке производства и обслуживания нефтегазодобывающего комплекса и сопоставимые по масштабам производства: ОАО «Самарский резервуарный завод»,

ОАО «Волгабурмаш», ОАО «Алнас», ОАО «Нефтебур», ОАО «Нытва», ОАО «Ижнефтемаш». Из спектра экономических показателей целесообразно выбирать те, по которым статистика временного ряда охватывала бы интервал не менее 7–10 лет, с общим количеством измерений от 100. Такими показателями являются ежемесячная выручка, рентабельность и т.д.

На рис. 2 представлены временной ряд выручки ОАО «Алнас» за период 2000–2008 гг. и его обработка по разработанному алгоритму в программе MATLAB.



a



б

Рис. 2. *a* – анализируемый участок динамики выручки ОАО «Алнас»;
б – зависимость фрактальной меры P от размерного фактора L
и определение фрактальной размерности D

Фрактальный анализ микроэкономических показателей для приведенного ряда установил значение фрактальной размерности в интервале 1,27–1,39.

Целесообразно полагать, что значение фрактальной размерности в данном случае служит критерием стабильности работы предприятия. Чем больше значение фрактальной размерности, тем стабильнее работа предприятия в условиях сохранения рабочей волатильности и тем устойчивей оно в период кризисных ситуаций и внутренних реструктуризаций. Это подтверждается также информацией из анали-

тических источников о начале процедуры банкротства на ОАО «Нытва», реструктуризации ОАО «Компания Ижнефтемаш» и сложностей, объясняемых другими причинами, как в случае с ОАО «Нефтебур».

Одним из важнейших показателей финансовой эффективности предприятия является показатель рентабельности чистой прибыли (коэффициент чистой прибыли либо рентабельность продаж) и показатели ликвидности. Показатели рентабельности активов и рентабельности собственных средств взаимосвязаны между собой и с показателем финансовой устойчивости предприятия – коэффициентом соотношения заемных и собственных средств (КЗС). Этот коэффициент дает наиболее общую оценку финансовой устойчивости и показывает, сколько единиц привлеченных средств приходится на каждую единицу собственных средств.

Представляет интерес сопоставление рентабельности чистой прибыли и коэффициента соотношения собственных и заемных средств с показателем динамики выручки – фрактальной размерностью. Тренд рентабельности и тренд коэффициента соотношения заемного и собственного капитала определяем с помощью аппарата алгебры матриц. На рис. 3 приводится сопоставление фрактальной размерности динамики выручки и характеристики тренда, под которой понимается угловой коэффициент прямой $e(t)$.

Фрактальная размерность	Характеристика тренда
D	Kr
1,356	0,835

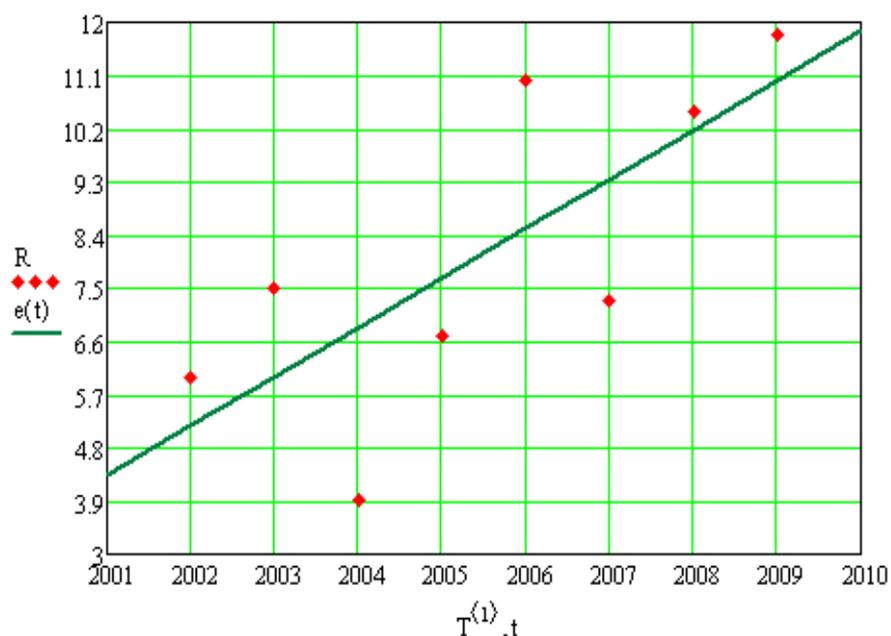


Рис. 3. Определение тренда изменения рентабельности ОАО «Самарский резервуарный завод» за период 2001–2010 гг.

Результаты исследования приведены в табл. 1.

Сопоставление фрактальной размерности динамики выручки D
и характеристики тренда Kr

Предприятие	Фрактальная размерность	Характеристика тренда рента- бельности	Характеристика тренда КЗС
	D	Kr	D/E
ОАО «Самарский резервуарный завод»	1,356	0,835	-0,105
ОАО «Волгабурмаш»	1,415	1,257	-1,284
ОАО «Алнас»	1,361	2,294	-0,453
ОАО «Нефтебур»	1,273	-0,685	0,784
ОАО «Нытва»	1,271	-0,683	1,150
ОАО «Ижнефтемаш»	1,291	-0,739	0,236

Из таблицы видно, что предприятия, имеющие отрицательный тренд рентабельности продаж и положительный тренд коэффициента соотношения заемных и собственных средств в период 2001–2010 гг., характеризуются динамикой выручки с невысоким значением фрактальной размерности (1,27–1,29) – ОАО «Нефтебур», ОАО «Нытва», ОАО «Ижнефтемаш». Это обусловлено, в частности, такими факторами, как реструктуризация (ОАО «Ижнефтемаш»), инициация процедуры банкротства (ОАО «Нытва») и другие внутренние причины, которые снижают нормальную волатильность показателей. Анализ предприятий других отраслей (строительство, автодилеры, производство продуктов питания, ритейл) показал аналогичные результаты.

Предприятия, имеющие положительный тренд рентабельности продаж и отрицательный тренд коэффициента соотношения заемных и собственных средств в период 2001–2010 гг., характеризуются динамикой выручки с высоким значением фрактальной размерности (1,35–1,38). Нормальная волатильность экономических показателей, которая характеризуется высоким значением фрактальной размерности, сопровождается достаточно устойчивым ростом тренда рентабельности и спадом тренда коэффициента соотношения собственных и заемных средств, что подтверждается лидерством в своем сегменте рынка ОАО «Самарский резервуарный завод», ОАО «Волгабурмаш», ОАО «Алнас».

Таким образом, установлены критические значения индикатора экономической стабильности предприятия, рассчитанные методом фрактального анализа динамики микроэкономических показателей (выручки):

– значение фрактальной размерности D временного ряда финансового показателя меньше 1,29 соответствует невысокой стабильности предприятия и пони-

женной (затухающей) волатильности, что, очевидно, свидетельствует о малой способности к развитию, особенно в условиях кризиса.

– значение фрактальной размерности D временного ряда финансового показателя выше 1,30 соответствует нормальной (рабочей) волатильности и свидетельствует о высокой устойчивости предприятия и способности к развитию.

3. Предложен экономико-математический алгоритм вычисления степени гладкости временного ряда котировок акций и индексов на фондовом рынке с применением показателя Гёльдера для целей выявления точек смены его тренда и резких скачкообразных изменений, определяющих кредитные и инвестиционные риски, что развивает методы оценки гладкости с применением показателя Гёльдера на фондовых рынках, учитывающего изменения инвестиционных горизонтов, за счет введения его ограничения по области допустимых значений.

Проблема использования мультифрактального подхода в области оценки инвестиционных и кредитных рисков тесно связана с понятием гладкости исходного ряда показателей. Большие движения актива или рынка в целом сопряжены с резким сокращением спектра инвестиционных горизонтов, что приводит к более «гладкому» поведению временного ряда. Это, в свою очередь, приводит к резкому росту прогнозного показателя, который реагирует на изменение гладкости временных рядов. Таким образом, вычисляя прогнозный индикатор, можно сделать предположение о возникновении критических точек в будущем.

Под критической точкой в данной работе будем понимать точку временного ряда показателей экономической системы, предшествующую смене тренда, резкому скачку либо обвалу показателей временного ряда, которые происходят в пределах временного периода в будущем, соответствующего размеру выбранного временного окна.

Для целей вычисления степени гладкости исходного ряда будем использовать показатель Гёльдера, адаптировав его к временным рядам экономической природы. За основу вычисления прогнозного показателя Гёльдера взят метод, основанный на понятии полунормы Гёльдера, которая имеет вид

$$C(\beta) = \max_{i,j=\overline{1..N}, i \neq j} \frac{|x_i - x_j|}{|t_i - t_j|^\beta}, \beta \in \beta_k, k = \overline{1..n}. \quad (1)$$

Далее введем величину

$$\bar{k} : |\alpha - \beta_{\bar{k}}| = \min_{k=\overline{1..n}} |\alpha - \beta_k|, \quad (2)$$

где α – показатель Гёльдера для исходной функции. Это означает, что $\beta_{\bar{k}}$ является лучшей аппроксимацией α среди всех значений β_k . Выразив $C(\beta_k)$ через $C(\beta_{\bar{k}})$, получим следующее соотношение:

$$C(\beta_k) = C(\beta_{\bar{k}}) \max_{i,j=\overline{1..N}, i \neq j} \frac{1}{|t_i - t_j|^{\beta_k - \beta_{\bar{k}}}}. \quad (3)$$

Анализ спектров фрактальных размерностей временных рядов показал, что при построении спектров фрактальных мер нельзя четко определить искомую точку скачка функции, т.е. точку, которую можно считать показателем Гёльдера для данного временного ряда. Таким образом, определение показателя Гёльдера для экономических временных рядов затрудняется. Однако в 2008 году Ю.А. Купериним и Р.Р. Счастливым был разработан алгоритм вычисления модифицированного локального показателя Гёльдера (МРНЕ). В данном исследовании алгоритм МРНЕ изменен так, чтобы ограничить показатель Гёльдера согласно определению, в пределах от 0 до 1. Это позволит в дальнейшем обеспечить адекватность построения порогов нормального состояния для корректности идентификации критических точек.

1. Разделим исходный ряд анализируемого участка на два подмножества, назовем их основное и прогнозное. Пусть рассматривается временной ряд с количеством измерений, равным L . Выделим основное подмножество: это первые K значений $\{X_i\}_{i=1}^K$ временного ряда $\{X_i\}_{i=1}^L$, $1 < K < L$.

2. Предположим, что для временного ряда $\{X_i\}_{i=1}^K$ показатель Гёльдера равен α . Зная α , можно вывести $C(\alpha)$ для множества $\{X_i\}_{i=1}^K$, используя равенство (3).

3. Для множества $\{X_i\}_{i=K+1}^L$ рассчитываем величины $C(\beta_k)$, но таким образом, чтобы зафиксировать значение $C(\beta_k)$, максимально приближенное к уже рассчитанному ранее значению $C(\alpha)$ основного множества. Пусть это произойдет при \bar{k} .

4. Определим величину $\bar{\alpha} = \beta_{\bar{k}}$. Показатель $\bar{\alpha}$ назовем «прогнозным» показателем Гёльдера множества $\{X_i\}_{i=K+1}^L$, рассчитанного на основе множества $\{X_i\}_{i=1}^K$. При этом величины $\{X_i\}_{i=K+1}^L$ должны находиться левее точки t_k .

При этом расчет первого прогнозного показателя Гёльдера будет определен параметром l , а количество измерений в основном и прогнозном множестве будет определено при помощи параметра k , таким образом, стартовая позиция для расчета прогнозного показателя Гёльдера t_l , первое основное множество $\{X_i\}_{i=1}^{l-k}$, а первое прогнозное множество – $\{X_i\}_{i=l-k}^l$.

Количество измерений в основном и прогнозном множествах, на основании которых происходит расчет прогнозного показателя Гёльдера, всегда фиксировано, и показатель k для каждого прогнозного подмножества ограничен количеством измерений, что позволяет показателям β_k принимать значения строго в диапазоне $0 \leq \beta_k \leq 1$, который соответствует определению показателя Гёльдера.

Необходимо также учесть, что данные берутся исключительно слева от текущего времени, а данные справа от точки t_i не учитываются при расчете, что позволяет использовать прогнозный показатель Гёльдера в качестве предиктора.

4. Разработан программный комплекс прогнозирования критических состояний отраслей по индексам фондового рынка и предприятий

по котировкам акций для проведения оценки кредитных и инвестиционных рисков на основе авторской методики определения критических точек экономической системы, представляющий собой систему поддержки принятия решений с учетом экономических рисков, предназначенный для принятия инвестиционных и кредитных решений.

По результатам проведенных экспериментов составлена методика определения критических точек при помощи «прогнозных» показателей Гельдера и его пороговых значений, включающая следующие этапы:

1. Рассчитать «прогнозные» показатели Гельдера для исходного ряда данных по алгоритму, основанному на полунорме Гельдера.

2. Рассчитать пороговые значения «прогнозных» показателей Гельдера для исходного временного ряда по алгоритму, основанному на применении линейно-взвешенных скользящих средних и общей фрактальной размерности ряда.

3. Определить критические точки:

а) пересечение «прогнозного» показателя Гельдера и верхнего порога нормального состояния – сигнал смены тренда;

б) пересечение «прогнозного» показателя Гельдера и нижнего порога нормального состояния – сигнал смены тренда;

с) пересечение «прогнозного» показателя Гельдера, нижнего и верхнего порогов нормального состояния, которые происходят в пределах временного периода, соответствующего размеру выбранного временного окна, – сигнал резкого скачка либо падения показателей исходного ряда.

Прогнозирование заключается в определении резких скачков прогнозного показателя Гельдера. Для этого потребуется определить порог «нормального состояния» прогнозного показателя Гельдера. Под нормальным состоянием будем понимать некоторое усреднение показателей Гельдера, предшествовавших текущему, с введением коэффициентов верхнего и нижнего порогов. При этом будем учитывать общую фрактальную размерность анализируемого временного ряда, которая также будет влиять на появление сигнала.

Обозначим текущее значение показателя Гельдера как $G(t)$, тогда верхний порог нормального состояния (HUp) и нижний порог нормального состояния (HDn) можно вычислить с помощью линейно взвешенного скользящего среднего по формулам.

$$\begin{aligned} HUp(t) &= \frac{2}{n(n+1)} \left(\sum_{i=l+1}^{L-1} (n-i)G(t-i) \right) + Up \cdot D_f, \\ HDn(t) &= \frac{2}{n(n+1)} \left(\sum_{i=l+1}^{L-1} (n-i)G(t-i) \right) + Dn \cdot D_f, \end{aligned} \quad (4)$$

где Up – коэффициент верхнего порога нормального состояния,

Dn – коэффициент нижнего порога нормального состояния,

D_f – фрактальная размерность временного ряда.

Фрактальную размерность вычисляем согласно алгоритму, предложенному для целей определения степени стабильности предприятия и анализа фондового рынка в п. 1 раздела II.

Прогнозирование сводится к определению точек пересечения кривой прогнозного показателя Гёльдера с показателями верхнего и нижнего порогов нормального состояния, это событие будет сигналом для будущего кризиса временного ряда (резкого скачка, смены тренда). Величина параметров U_p , D_n , а также вычисленное значение общей фрактальной размерности D_f ряда данных влияет на появление сигналов. Чем больше величина параметров U_p и D_n , тем меньшее количество сигналов появится. При этом чем меньше величина параметров U_p и D_n , тем сильнее будет возрастать количество ложных сигналов. При этом высокое значение общей фрактальной размерности D_f говорит о менее устойчивом состоянии системы, при высоком значении этого показателя исходный ряд будет характеризоваться резкими скачками и перепадами котировок. Для такой системы порог нормального состояния будет менее чувствителен, что позволит избежать большого количества ложных сигналов. Низкое значение показателя фрактальной размерности D_f говорит о более стабильном состоянии системы, при относительно невысоком значении этого показателя исходный ряд будет характеризоваться плавной сменой тренда и отсутствием крупных падений и скачков. Для такой системы порог нормального состояния будет более чувствителен, что позволит не пропустить появление критической точки. По определению сигнал считается ложным, если после его появления в дальнейшем не наблюдается точек смены тренда либо резких скачков.

Алгоритм реализован программными средствами MATLAB и содержит 1 основной модуль и 3 подпрограммы. Для анализа были выбраны котировки акций компаний различных отраслей и мировые индексы.

На рис. 4 приведен анализ временного ряда котировок акций ОАО «ЛУКОЙЛ». На верхней панели показан участок временного ряда котировок обычных акций ОАО «ЛУКОЙЛ» с 01.10.2007 по 30.12.2009, единица времени – дни. На нижней панели отражен ряд локальных прогнозных показателей Гёльдера при установленных параметрах $l = 40$, $k = 20$, $U_p = 0,32$, $D_n = 0,32$. Общая фрактальная размерность ряда $D_f = 1,17$.

Ряд котировок содержит 14 критических точек, которые должны быть предсказаны. Из них не было предсказано 3 точки, ложных сигналов – 2. Проведенные исследования показывают, что в кризисные периоды характер значений прогнозного показателя Гёльдера может быть характеризован резкими скачками, это наблюдается особенно перед резкими обвалами или скачками исходного ряда котировок. Поэтому целесообразно включить в анализ изменения приращений показателя Гёльдера.

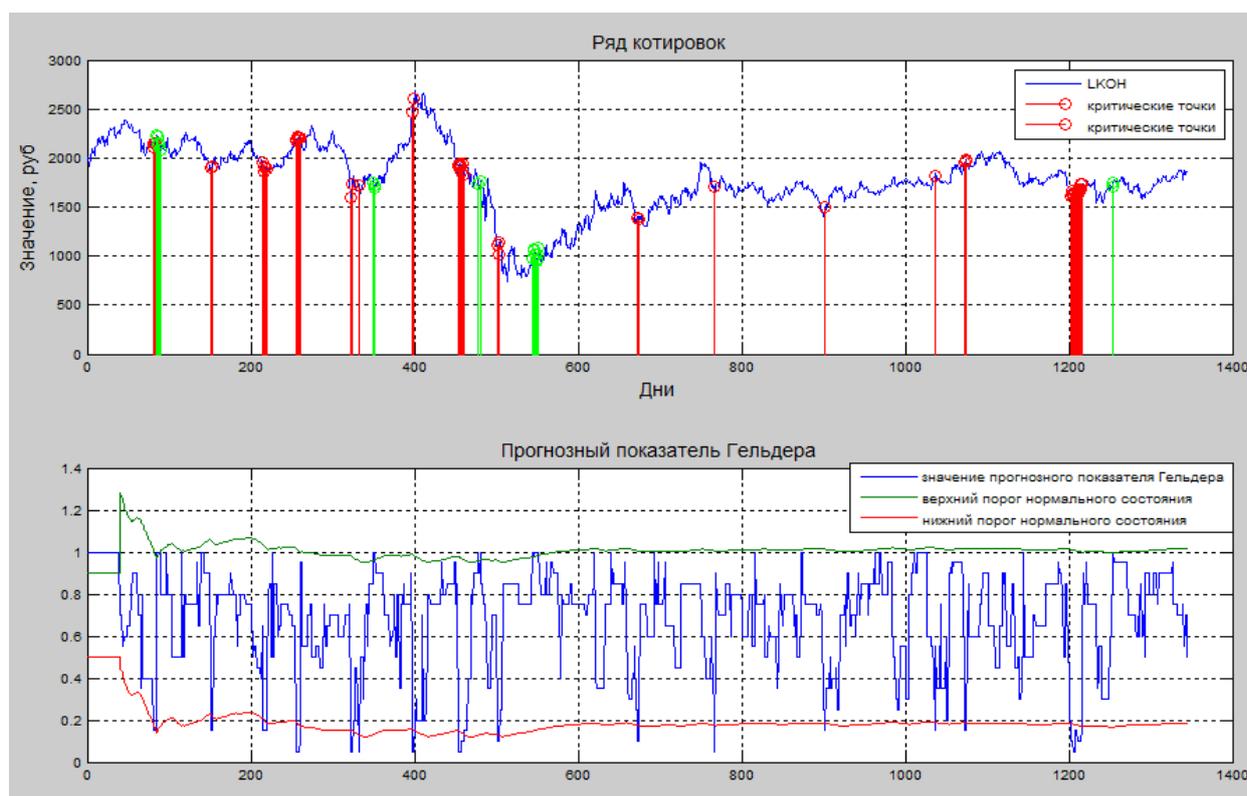


Рис. 4. Верхняя панель – анализируемый участок котировок LKOH с 01.10.2006 по 29.02.2012. Нижняя панель – соответствующий ряду котировок прогнозный показатель Гельдера и пороги его нормального состояния. Идентифицированные критические точки нанесены на исходный ряд котировок

Для вычисления приращения показателя Гельдера для каждой точки исходного ряда из текущего показателя будем вычитать предыдущий. Также необходимо зафиксировать нормативное значение приращений на среднем уровне (параметр $Kdiff = K \cdot D_f$ будет служить индикатором нормального состояния приращений, параметр $K \approx 0,32$ определен экспериментально). Значения приращений, превышающие значение параметра $Kdiff$, будут считаться индикаторами критических точек.

Рассмотрим анализ приращений прогнозного показателя Гельдера на примере уже проанализированного ранее ряда котировок акций ОАО «ЛУКОЙЛ» за период 2006–2012 гг. (рис. 5), критические точки нанесены на исходный ряд котировок в соответствии с пересечением индикатора значений приращений.

По сравнению с анализом пересечения прогнозного показателя Гельдера пороговых значений (3 события из 15 оказались не предсказаны), анализ по приращениям сократил количество упущенных событий до 2.

Результирующая таблица (табл. 2) содержит информацию о количестве предсказанных и непредсказанных событий и доле предсказанных событий в общем количестве критических точек временных рядов для двух методов определения критических точек.

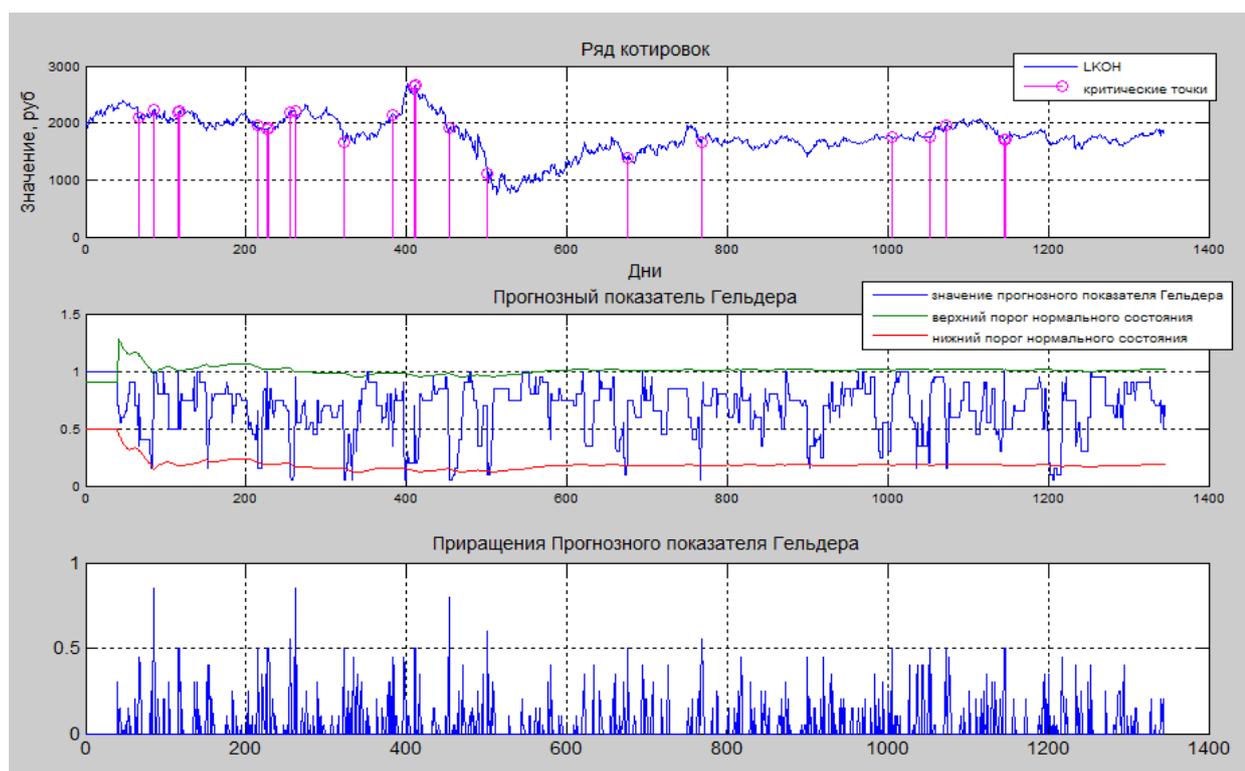


Рис. 5. Верхняя панель – анализируемый участок котировок LKOH с 01.10.2006 по 29.02.2012. Средняя панель – соответствующий ряду котировок прогнозный показатель Гельдера и пороги нормального состояния этого показателя. Нижняя панель – приращения прогнозного показателя Гельдера

Таблица 2

Сравнение точности определения критических точек методом прогнозного показателя Гельдера и методом приращений прогнозного показателя Гельдера (ПГ)

Наименование анализируемого ряда	Количество «критических точек»	Количество предсказанных критических точек (прогнозный ПГ)	Количество ложных сигналов (прогнозный ПГ)	Доля предсказанных критических точек (прогнозный ПГ)	Количество предсказанных критических точек (приращения)	Количество ложных сигналов (приращения)	Доля предсказанных критических точек (приращения)
RTS oil / gas	8	6	0	75 %	7	0	88 %
LKOH	15	12	2	71 %	13	2	76 %
Аэрофлот	7	7	1	88 %	5	0	71 %
Gazp	16	11	3	58 %	11	3	58 %
MFON	19	17	0	89 %	17	0	89 %
MTS	6	6	0	100 %	6	0	100 %
ROSN	12	10	0	83 %	10	0	83 %
Rushydro	11	10	0	91 %	10	0	91 %
Sberbank	13	11	2	73 %	12	2	80 %
VTB	11	11	1	92 %	11	0	100 %
Усредненная точность метода	118	101	9	80 %	102	7	82 %

Таким образом, точность определения критических точек при помощи приращения прогнозного показателя Гёльдера более высока по сравнению с методом пороговых значений прогнозного показателя Гёльдера. Однако стоит заметить, что тип критической точки лучше определяется при помощи метода пороговых значений прогнозного показателя Гёльдера. Применение этих методов в комплексе дает более широкое понимание будущего поведения временного ряда и является инструментом прогнозирования с достаточно хорошими показателями точности – в среднем 82 % верно спрогнозированных критических точек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном диссертационном исследовании решена проблема расширения функциональных возможностей инструментальных методов анализа степени стабильности предприятий и прогнозирования критических состояний экономических систем с использованием фрактальных и мультифрактальных характеристик для оценки кредитных и инвестиционных рисков:

1. Выявлена целесообразность и дано теоретическое обоснование применения фрактальных и мультифрактальных характеристик для оценки рисков на основе анализа современных подходов к исследованию стабильности и прогнозированию критических состояний экономических систем.

2. Разработан экономико-математический алгоритм определения фрактальной характеристики для определения стабильности показателей предприятий, проведена верификация модели на данных фондового рынка и показателях финансовой отчетности предприятий.

3. Установлены критические значения и взаимосвязь фрактальной размерности с показателями эффективности хозяйственной деятельности и финансовой устойчивости предприятия.

4. Разработана методика определения критических точек показателей экономической системы – индексов и котировок акций на фондовом рынке – с использованием мультифрактальных характеристик для анализа инвестиционных и кредитных рисков, определен предиктор, определены типы критических точек и проведена верификация алгоритма на данных фондового рынка.

5. Реализован программный комплекс прогнозирования критических состояний отраслей по индексам и предприятий по котировкам акций на фондовом рынке для проведения оценки кредитных и инвестиционных рисков.

Перспективными направлениями дальнейшего расширения функциональных возможностей разработанных алгоритмов определения критических точек экономических систем является разработка проблемы определения тренда показателей экономической системы после идентификации критической точки.

III. Список опубликованных работ

Издания, включенные в перечень рекомендованных ВАК:

1. Кривоносова, Е.К. Исследование временных рядов экономических показателей предприятий (на примере Приволжского Федерального округа) / Е.К. Кривоносова, В.П. Первадчук // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – СПб., 2013. – № 173. – С. 31–36.
2. Кривоносова, Е.К. Математическое моделирование процесса оценки стабильности предприятий машиностроительного комплекса / Е.К. Кривоносова, В.П. Первадчук // Тяжелое машиностроение. – 2014. – № 8. – С. 45–48.
3. Кривоносова, Е.К. Сравнение фрактальных характеристик временных рядов экономических показателей / Е.К. Кривоносова, В.П. Первадчук, Е.А. Кривоносова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: www.science-education.ru/120-15974
4. Первадчук, В.П. Применение инструмента мультифрактального анализа к прогнозированию кризисных ситуаций в экономических системах / В.П. Первадчук, Е.К. Кривоносова // Наука и бизнес: пути развития. – 2015. – № 2 (44). – С. 37–41.

Другие работы, опубликованные по теме диссертации:

5. Кривоносова, Е.К. Использование фрактального подхода для анализа стабильности многоуровневых структур / Е.К. Кривоносова, В.П. Первадчук // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Сер. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – № 1(15). – С. 63–69.
6. Кривоносова, Е.К. Применение фрактального анализа к исследованию динамики макроэкономических показателей / Е.К. Кривоносова, В.П. Первадчук // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Сер. Прикладная математика и механика. – 2013. – № 11. – С. 48–55.
7. Кривоносова, Е.К. Моделирование многоуровневых структур с использованием фрактального анализа / Е.К. Кривоносова // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф.; 19–21 марта 2014, г. Курск / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2014. – Т. 2.
8. Krivonosova, E.A. Fractal analysis of multilevel structure formation / E.A. Krivonosova, Y.D. Schicin, E.K. Krivonosova // The International Symposium on visualization through advanced measurements and simulation; 26–28 november, 2014, Osaka / Osaka University. – Osaka, 2014. – P. 287–289.
9. Кривоносова, Е.К. Применение методов экономофизики к анализу микроэкономических показателей / Е.К. Кривоносова // Шаг в будущее: теоретические

и прикладные исследования современной науки: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф.; 16–17 декабря 2014, Санкт-Петербург. – 2014. – С. 93–97.

10. Кривоносова, Е.К. Расширение методов исследования на стыке математики, физики и экономики / Е.К. Кривоносова // Современное состояние естественных и технических наук: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф.; 19 декабря 2014, г. Москва. – М., 2014. – С. 12–15.

Подписано в печать 09.07.2015. Формат 60×90/16.

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1069/2015.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии издательства
Пермского национального исследовательского политехнического университета.
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.
Тел. (342) 219-80-33.