

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Уляев Лукман Рафгатович

Моделирование кризисных явлений на финансовом рынке

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные
методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата экономических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре
математических методов анализа экономики
экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

- Научный руководитель **Чахоян Валентина Андреевна**,
кандидат экономических наук, доцент
- Официальные оппоненты **Столбов Михаил Иосифович**,
доктор экономических наук, профессор, профессор РАН,
Московский государственный институт международных
отношений (университет) Министерства иностранных дел
Российской Федерации, факультет прикладной экономики
и коммерции, заведующий кафедрой прикладной экономики
- Водянова Вера Владимировна**,
доктор экономических наук, доцент, Российская академия
народного хозяйства и государственной службы при
Президенте Российской Федерации, профессор «Высшей
школы финансов и менеджмента»
- Сушко Елена Давидовна**,
кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории компьютерного моделирования социально-
экономических процессов отделения теоретической
экономики и математических исследований ЦЭМИ РАН

Защита диссертации состоится «17» февраля 2022 г. в 15 час. 40 мин. на заседании диссертационного совета МГУ.08.06 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 46, корпус 3, экономический факультет, ауд. 356.

Е-mail: msu.08.06@list.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский проспект, дом 27). С информацией об организации защиты и с диссертацией в электронном виде также можно ознакомиться на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/404885935/>

Автореферат разослан « » декабря 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.08.06
кандидат экономических наук, доцент

Е.А. Туманова

I. Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования

На финансовых рынках регулярно наблюдаются кризисные явления – внезапные и значительные падения курсов ценных бумаг или всплески волатильности, которые обычно достаточно сложно предсказать. Данные события оказывают влияние на всех участников финансово-экономических отношений и могут иногда приводить к крупным финансовым кризисам. Объяснение причин появления и прогнозирование подобных маловероятных событий, имеющих существенное значение, являются важнейшими задачами, стоящими перед исследователями и регулирующими органами.

В настоящее время можно выделить два основных подхода к моделированию кризисных явлений на финансовом рынке: статистический и имитационный. В рамках первого подхода динамика рынка обычно описывается количественными переменными – при разработке моделей используется большое количество эмпирических показателей, позволяющих с помощью статистических методов воспроизводить реальные ценовые колебания и прогнозировать их динамику. Второй подход основан на моделировании поведения участников торгов и построении искусственных моделей финансового рынка – он позволяет объяснять различные особенности динамики рынка, которые невозможно было понять в рамках классических подходов и стандартной финансовой теории.

Наиболее интенсивно развивающимся направлением имитационного моделирования финансового рынка является агентно-ориентированное моделирование. Это во многом объясняется тем, что при решении задачи моделирования кризисных явлений необходимо описывать сложную структуру взаимодействующих агентов. Традиционные модели в этой области используют различные искусственные предположения для упрощения задачи и получения аналитического решения. Кроме того, применяемый математический аппарат зачастую не позволяет совершать модификации или расширения построенной модели. Агентно-ориентированные модели не обладают подобными недостатками и могут быть модифицированы в зависимости от поставленных задач и цели исследования.

С использованием агентно-ориентированных моделей в основном осуществляется интерпретация процессов, происходящих в периоды нестабильной работы финансовых рынков. При этом одной из главных задач при разработке агентных моделей является увеличение количества и качества воспроизводимых свойств реальных финансовых временных рядов. Однако в большинстве моделей решение данной задачи возможно только в ограниченной области значений параметров и при определённом количестве агентов [Cristelli et al., 2010]. Представляется, что продвижение в построении подобных моделей напрямую связано с разработкой новых программных комплексов, позволяющих

осуществлять различные модификации разрабатываемых моделей в результате изменения состава участников торгов и финансовых инструментов, реализующих разные механизмы возникновения кризисных явлений на финансовом рынке.

В большинстве существующих работ механизмы возникновения кризисных явлений рассматриваются отдельно, изучается влияние определенного фактора или финансового инструмента на ценовые колебания активов. Неисследованным является вопрос о степени и характере влияния различных механизмов и взаимодействий участников торгов друг на друга. Например, открытой проблемой остаётся изучение воздействия на динамику рынка введения запрета или ограничений на короткие продажи и использования участниками торгов опционов или заёмных средств. В одних исследованиях отмечаются негативные эффекты: введение на финансовом рынке ограничений на короткие продажи в кризисных ситуациях может усиливать волатильность активов, а использование кредитного плеча и опционов может привести к неблагоприятным последствиям. В других исследованиях, напротив, отмечаются положительные стороны: опционы и короткие продажи позволяют застраховать портфель акций от непредвиденных движений цен и способствуют процессу обнаружения справедливых значений, тем самым повышая эффективность рынка.

Важно отметить, что агентно-ориентированные модели, включающие особенности российского фондового рынка или способные воспроизводить основные эмпирические свойства динамики цен акций, в отечественной экономической литературе отсутствуют. Поэтому разработка и построение подобных имитационных моделей в настоящее время является актуальной задачей. При этом представляется, что для адекватного определения правил поведения агентов и параметров модели необходимо проведение исследований, направленных на изучение эмпирических свойств динамики цен акций на российском фондовом рынке и выявлению особенностей поведения рынка и участников торгов.

Степень разработанности проблемы

Агентно-ориентированные модели финансового рынка можно условно разделить на три основных типа: искусственные финансовые рынки (artificial markets), вычислительно-ориентированные имитационные модели, гетерогенные агентные модели (heterogeneous agent models). Первые два типа моделей представляют собой попытки полностью отразить устройство финансового рынка, что зачастую может приводить к повышенной сложности и необозримости моделей. Примеры проведённых в данном направлении исследований: [Arthur et al., 1997; Caldarelli et al., 1997; LeBaron et al., 1999; Cont, Bouchaud, 2000; Huang, Solomon, 2001; Chen, Yeh, 2001; Raberto et al., 2001; LeBaron, 2002; Giardina, Bouchaud, 2003; Cont, 2007; Mike, Farmer, 2008; Федеряков, 2008; Арбузов, 2015].

Напротив, в рамках третьего типа моделей обычно изучаются отдельные внутренние механизмы финансового рынка на основе более простых моделей, позволяющих создавать сложную структуру на макроуровне в результате объединения взаимодействий между агентами на микроуровне – подобный подход является простым, но при этом он обычно достаточно хорошо справляется с задачей объяснения многих «стилизированных» фактов (stylized facts) о динамике реальных финансовых временных рядов. В работах [Hommes, 2006; LeBaron, 2006; Hommes, Wagener, 2009; Chiarella et al., 2009; Lux, 2009; Chen et al., 2012; Hommes, 2013; He, 2014] представлены подробные обзоры и сравнительный анализ агентно-ориентированных моделей финансового рынка.

В гетерогенных агентных моделях основное внимание фокусируется на эндогенной неоднородности участников торгов. В работах [Day, Huang, 1990; Chiarella, 1992; Lux, 1995; Brock, Hommes, 1998] было показано, что взаимодействия агентов с разнородными ожиданиями может привести к нестабильности фондового рынка. При этом построение финансовых конструкций в рамках рассматриваемых моделей возможно в непрерывном и дискретном времени. В первом случае модель обеспечивает единообразную структуру для работы с историческими данными цен акций, а в рамках второго направления строится дискретная структура для исследования влияния разнородных ожиданий и адаптивного поведения участников торгов на динамику цен активов. Например, модели [Dieci et al., 2006; He, Li, 2007; Gaunersdorfer et al., 2008; He, Li, 2015; He et al., 2016; He, Li, 2017] включают в себя агентов, которые могут переключаться между различными стратегиями, демонстрируя таким образом адаптивное поведение.

В большинстве гетерогенных агентных моделей используется система дискретного выбора для реализации процесса переключения участников торгов между различными конкурирующими стратегиями или поведенческими правилами. Такой подход позволяет моделировать изменения в процентном соотношении различных типов инвесторов, а не непосредственно потоки денежных средств. В статье [LeBaron, 2011] была предложена новая форма переключения инвесторов между стратегиями с использованием активного обучения. В отличие от пассивного обучения, при котором денежные средства инвесторов накапливались естественным образом в относительно успешных стратегиях, при активном обучении инвесторы склонны применять наиболее эффективные правила.

Изучение взаимодействия активного и пассивного обучения было отражено в работе [Palczewski, Schenk-Hopp, Wang, 2016]. Авторы построили эволюционную финансовую структуру, включающую агентов, которые интерпретировались как фонды с разными инвестиционными «стилями». Инвесторы могли перемещать средства между фондами на основе относительной эффективности их стратегий. Таким образом активы, находящиеся

в управлении, могли увеличиваться экзогенно в дополнение к эндогенному росту. Однако в построенную модель не включалась возможность использования заёмных средств для фондов и не исследовано влияние данного фактора на ценовую динамику.

Похожая финансовая структура была использована при построении модели в работе [Thurner, Farmer, Geanakoplos, 2012] для исследования совместного влияния динамики благосостояния фондов, потоков денежных средств и уровня лeverиджа на волатильность активов. В данной модели фонды могли совершать только покупку активов. Возможность использования коротких продаж или опционов не рассматривалась авторами. Включение подобных финансовых инструментов в модель может позволить исследовать влияние не только отдельного механизма на ценовую динамику, но и возможные эффекты, которые могут возникать при использовании агентами различных финансовых инструментов.

Представляется, что создание более гибких моделей, которые позволяют оперативно менять структуру модели с целью исследования влияния различных комбинаций факторов на ценовые колебания активов, является важным продолжением развития существующих гетерогенных агентных моделей. При этом настройка основных параметров модели рынка на основе реальных данных о включенных в структуру модели взаимодействиях агентов и особенностях поведения фондового рынка, а также проверка соответствия искусственных модельных данных реальным финансовым временным рядам, наблюдаемым на фондовом рынке, являются актуальными направлениями улучшения подобных моделей.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка имитационной модели финансового рынка, позволяющей воспроизвести и объяснить механизмы возникновения кризисных явлений и эмпирические свойства динамики цен акций на российском фондовом рынке.

Для достижения цели исследования были поставлены и решены следующие задачи:

1. Выявить характерные особенности динамики цен акций на российском фондовом рынке по сравнению с мировыми фондовыми рынками и сформулировать предположения о возможных механизмах и взаимодействиях между участниками торгов, которые могут приводить к внезапным и значительным изменениям цен акций российских компаний.

2. Разработать имитационную модель финансового рынка на основе результатов проведенного исследования особенностей российского фондового рынка, допускающую различные механизмы влияния взаимодействий между агентами на ценовые колебания и позволяющую воспроизводить характерные черты поведения участников торгов.

3. Предложить модификации разработанной модели, которые позволяют исследовать эффекты, возникающие от одновременного использования участниками торгов коротких

продаж, опционов, инструментов по управлению рисками и заёмных средств, выдаваемых под залог финансовых активов на рынке.

4. Разработать подход к исследованию кризисных явлений на финансовом рынке с использованием построенных моделей рынка, обеспечивающий возможность изучения особенностей поведения участников торгов и динамики ценовых колебаний на рынке при реализации различных механизмов возникновения кризисных явлений.

5. Провести проверку соответствия полученных смоделированных данных реальным финансовым временным рядам. На основе результатов валидации разработанных моделей финансового рынка сформулировать практически значимые выводы для регулирующих органов финансового рынка.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является финансовый рынок. Предмет исследования – внутренние процессы на финансовом рынке, возникающие в результате взаимодействий между участниками торгов и приводящие к внезапным и значительным изменениям цен на финансовые активы.

Область исследования

Область исследования соответствует пункту 1.6. «Математический анализ и моделирование процессов в финансовом секторе экономики, развитие метода финансовой математики и актуарных расчетов» паспорта научной специальности ВАК РФ 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики».

Теоретическая и методологическая основа исследования

Теоретической основой исследования являются работы отечественных и зарубежных учёных в области моделирования финансового рынка и изучения причин возникновения кризисных явлений. Экономико-математический инструментарий включает методы системной динамики, агентно-ориентированное моделирование, методы статистического анализа. Реализация комплекса моделей финансового рынка осуществлялась на языке программирования Python с использованием интерактивной оболочки Jupyter Notebook.

Информационная база исследования сформирована на основе статистических баз данных Федеральной службы государственной статистики, Банка России, Всемирного банка, информационных ресурсов Финам и Yahoo! Finance. Для расчетов использовались программные пакеты Statistica, R и MS Excel.

Научная новизна исследования

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и исследовании комплекса моделей финансового рынка для изучения причин возникновения кризисных явлений, который позволяет воспроизводить и интерпретировать процессы, происходящие в периоды нестабильной работы российского фондового рынка. На основе проведённого анализа можно сформулировать следующие результаты, полученные лично автором:

1. Выявлены особенности колебания цен акций российских компаний, необходимые для построения имитационной модели российского фондового рынка на основе робастных оценок индексов тяжести хвостов и уровня асимметрии распределений доходностей акций российских компаний. В отличие от предыдущих исследований составлены сопоставимые по объёму временные ряды из российских и зарубежных данных и выявлена асимметрия доходностей акций на российском фондовом рынке с использованием метода наименьших квадратов с применением лог-лог-ранг-размер регрессии с оптимальным смещением.

2. Разработана имитационная модель финансового рынка, позволяющая исследовать влияние взаимодействий различных участников торгов на ценовые колебания финансовых активов. Основное преимущество по сравнению с предыдущими аналогами состоит в том, что структура и реализация модели впервые адаптированы для российского рынка акций – используемые параметры и взаимодействия между агентами в модели подбирались исходя из выявленных характерных особенностей поведения фондового рынка. В разработанной модели впервые реализован механизм влияния иностранных инвесторов на динамику цен акций российских компаний при возникновении кризисных потрясений.

3. Предложены модификации структуры разработанной модели финансового рынка, которые обеспечивают возможность исследования одновременного влияния трёх разных механизмов (через короткие продажи, инструменты страхования рисков и заимствования под залог активов) на волатильность рынка. На основе анализа результатов многократных имитаций работы модифицированных моделей рынка определены триггеры повышенной волатильности на рынке и выявлены негативные эффекты от использования участниками торгов опционов, коротких продаж, инструментов страхования рисков, заёмных средств в периоды высокой волатильности цен финансовых активов на рынке.

4. Разработан подход к исследованию кризисных явлений на финансовом рынке с использованием построенных моделей. Подход заключается в исследовании наблюдаемых на рынках процессов в результате последовательного включения и исключения различных комбинаций участников торгов, финансовых инструментов и правил торгов на рынке, что позволяет рассматривать механизмы возникновения кризисных явлений и их комбинации в различных структурах основной модели рынка и проверять предположения о влиянии

отдельных механизмов друг на друга и на волатильность актива в рамках разработанных модифицированных моделей финансового рынка.

5. Предложен новый метод проверки соответствия искусственных данных реальным финансовым временным рядам на основе использования оценок индексов тяжести хвостов распределений доходностей, полученных методом наименьших квадратов с применением лог-лог-ранг-размер регрессии с оптимальным смещением. Для реализации проверки на реальных данных проводится сравнение оценок индексов тяжести хвостов распределений доходностей актива с полученными ранее оценками для акций российских компаний. При этом в качестве вспомогательных критериев используются проверки способности моделей воспроизводить кластеризацию волатильности и асимметричные всплески волатильности.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии имитационного подхода к моделированию поведения российского рынка в периоды высокой волатильности цен на акции. Разработанный комплекс моделей рынка обеспечивает имитации взаимодействий различных комбинаций рыночных агентов и используемых финансовых инструментов, а также исследование их влияния на волатильность активов на рынке. Построенные модели могут быть использованы для других исследований особенностей финансового рынка – в частности, для изучения вопросов о влиянии на ценовые колебания активов инноваций, позволяющих страховать от рисков, вопросов о влиянии действий, снижающих риски одного финансового учреждения, на уровень общего риска в финансовой системе.

Практическая значимость исследования состоит в том, что предложенный подход к созданию модели финансового рынка может быть использован регулирующими органами рынка (центральными банками, денежно-кредитными управлениями, комиссиями по ценным бумагам) при построении более масштабной и вычислительно-ориентированной модели для принятия решений о необходимых мерах по регулированию финансового рынка. Разработанная программная реализация комплекса моделей рынка может быть применена в исследовательских и учебных целях – например, для лучшего понимания особенностей рынка и наглядной демонстрации работы простых механизмов, на уровне взаимодействия отдельных составляющих финансового рынка.

Положения, выносимые на защиту

1. Полученные количественные оценки тяжести хвостов распределений доходностей акций российских компаний позволяют выявить на значимом уровне наличие асимметрии положительной и отрицательной доходности для большинства неликвидных акций – при

этом для распределений доходностей характерен более тяжёлый правый хвост. Подобное явление объясняется повышенной чувствительностью цены к появлению положительных новостей из-за низкой ликвидности и чрезмерной реакции со стороны участников торгов – для ценовой динамики акций большинства таких компаний свойственны значительные и внезапные асимметричные всплески волатильности цены.

2. Разработанная модель финансового рынка впервые адаптирована для российского рынка на основе выявленных характерных особенностей поведения рынка. Предложенные изменения модели обеспечивают воспроизведение поведения крупных участников торгов на российском фондовом рынке. В адаптированной модели реализуется механизм влияния иностранных инвесторов на динамику ценовых колебаний акций российских компаний: при возникновении внутренних или внешних кризисных потрясений инвесторы продают активы и усиливают волатильность на фондовом рынке. Соответственно при увеличении волатильности на рынке возрастает влияние инвесторов на ценовую динамику.

3. Предложенные модификации построенной модели финансового рынка позволяют воспроизводить эффекты, возникающие от одновременного использования участниками торгов разных инструментов: коротких продаж, опционов, инструментов по управлению рисками и заимствований под залог активов. Наличие возможности совершения коротких продаж для участников торгов на рынке оказывает наибольшее влияние на волатильность актива и уменьшает асимметрию в распределении доходностей финансового актива. При этом использование участниками торгов опционов для хеджирования рисков нивелирует наблюдаемый эффект. Таким образом попытка регулировать риск на микроуровне может увеличивать общий системный риск на финансовом рынке.

4. Разработанный подход к исследованию кризисных явлений на финансовом рынке способствует содержательному объяснению причин значительных падений цен акций на рынке и проверке гипотезы о влиянии различных отдельных механизмов возникновения кризисных явлений друг на друга и на волатильность рынка. Характер и степень влияния регулирующих мер на ценовую динамику рынка (введение запрета или ограничений на использование коротких продаж, опционов, инструментов управления рисками и заёмных средств, выдаваемых под залог активов) зависит от текущего состава участников торгов и действующих правил организации торгов на рынке.

5. Предложенный метод проверки смоделированных финансовых временных рядов на соответствие реальным финансовым данным позволяет проверить способность моделей воспроизводить эффекты, наблюдаемые на мировых финансовых рынках – в частности, на российском фондовом рынке. Модифицированная модель рынка с наличием возможности использования коротких продаж в отличие от основной модели способна воспроизводить

асимметричные всплески волатильности, наблюдаемые в динамике акций на российском рынке, а модификация модели рынка с наличием возможности использования опционов и коротких продаж способна воспроизводить выявленные свойства экстремальных ценовых колебаний акций большинства российских компаний.

Апробация результатов работы

Результаты данного исследования были представлены на конференциях и научных семинарах: Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов – 2015» (Москва, 2015), Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов – 2016» (Москва, 2016), Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов – 2017» (Москва, 2017), Международной научной конференции «Ломоносовские чтения – 2019. Экономические отношения в условиях цифровой трансформации» (Москва, 2019), Немчиновских чтениях, посвященных 125-летию со дня рождения академика В.С. Немчинова (Москва, ЦЭМИ РАН, 2019), научных семинарах «Статические и динамические модели экономики» (Москва, 2014 – 2016) и «Инвестиционное проектирование» (Москва, 2016 – 2019) экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Публикации

Основные результаты проведённого исследования изложены в 10 опубликованных работах, в том числе 4 в журналах, входящих в список рецензируемых научных изданий, утвержденных решением Ученого совета МГУ для публикации результатов докторских и кандидатских диссертационных работ (общий объём – 7.14 п.л.).

Структура диссертации

Введение

Глава 1. Теоретические основы моделирования финансового рынка

- 1.1. Развитие подходов к анализу ценовых колебаний на финансовых рынках
- 1.2. Анализ существующих взглядов на функционирование финансового рынка
- 1.3. Эмпирические свойства финансовых временных рядов
- 1.4. Связь кризисных явлений в экономике и на финансовом рынке
- 1.5. Выводы по главе 1

Глава 2. Имитационное моделирование финансового рынка

- 2.1. Анализ агентного подхода к моделированию финансового рынка
- 2.2. Исследования кризисных явлений на финансовом рынке

2.3. Построение имитационной модели финансового рынка

2.4. Выводы по главе 2

Глава 3. Реализация комплекса моделей финансового рынка

3.1. Возможные модификации модели и выбор параметров

3.2. Анализ особенностей поведения искусственного финансового рынка

3.3. Волатильность актива в модели и индекс волатильности VIX

3.4. Выводы по главе 3

Заключение

Список литературы

Приложения

II. Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Получены робастные оценки индексов тяжести хвостов и уровня асимметрии распределений доходностей акций российских компаний и выявлены характерные особенности фондового рынка, необходимые для построения имитационной модели.

Для построения агентно-ориентированной модели финансового рынка, включающей в себя характерные черты поведения участников торгов на фондовом рынке и способной воспроизводить особенности ценовых колебаний акций российских компаний, проведено исследование динамики российского рынка и сравнение с мировыми фондовыми рынками на основе изучения статистических свойств значительных ценовых колебаний.

В результате проведенного исследования были выявлены и описаны свойственные рынку эмпирические эффекты, получены оценки индексов тяжести хвостов и уровня асимметрии распределений доходностей акций на основе метода наименьших квадратов (МНК) с использованием лог-лог-ранг-размер (log-log rank-size) регрессии с оптимальным смещением [см. напр. Gabaix, Ibragimov, 2011]. В отличие от предыдущего исследования, использующего данный метод, в исследуемый период были включены благоприятные для российского рынка этапы (с 2000 по 2004 г. и с 2015 по 2018 г.) и выборки из российских и зарубежных данных были сопоставимы по объёму.

В рамках исследования была написана программа на языке Python, позволяющая скачивать котировки акций российских компаний, торгующихся на Московской бирже (период с 1 января 2000 г. по 31 декабря 2018 г.). При скачивании данных из основной выборки исключались акции компаний, по которым имелось менее 1200 наблюдений, а также производились соответствующие корректировки значений котировок ценных бумаг при проведении компаниями сплитов или консолидаций акций. На основе полученных данных были рассчитаны логарифмические доходности и описательные статистики.

Анализ полученных статистических показателей показал, что динамика цен акций подвержена значительным колебаниям и характеризуется повышенной волатильностью, распределения доходностей российских акций обладают «тяжёлыми хвостами». Гипотеза о нормальном распределении была отклонена на основе результатов Shapiro-Wilk теста. На вероятностных графиках наблюдались отклонения теоретического распределения от эмпирического. Степень тяжести хвостов рассматриваемых распределений измерялась с помощью хвостовых индексов. Увеличение вероятностной меры в хвостах распределения или количества значительных изменений в динамике цен акций приводит к более низким значениям оценки индекса тяжести хвостов.

Полученные оценки индексов тяжести хвостов и уровня асимметрии распределений доходностей акций российских компаний позволили установить различия экстремальных свойств для ликвидных и неликвидных акций. Выявленная асимметрия положительной и отрицательной доходности в основном наблюдалась для акций небольших компаний – при этом для распределений был характерен более тяжёлый правый хвост. Подобное явление объясняется повышенной чувствительностью цены к появлению положительных новостей из-за недооцененности акции и чрезмерной реакции со стороны участников торгов – для большинства таких компаний свойственны асимметричные всплески волатильности, когда после внезапного и сильного роста цены следует постепенное уменьшение волатильности и возврат цены акции к начальному значению в течение нескольких дней.

Значения коэффициентов асимметрии и эксцесса существенно отличались для всех рассматриваемых акций. Результаты анализа показали, что котировки менее ликвидных акций подвержены значительным ценовым колебаниям по сравнению с более ликвидными акциями (чаще наблюдались экстремальные выбросы, более 4-х стандартных отклонений). Данное различие в динамике акций может являться причиной недооценки стоимости из-за отсутствия объективных критериев оценки цены со стороны участников торгов. Низкая ликвидность и подверженность участников финансовых отношений на российском рынке различным поведенческим отклонениям способствуют более значительным наблюдаемым движениям цен. При этом акции крупных и ликвидных компаний при падениях инвесторы активно покупают, поэтому негативные новости оказывают меньшее влияние.

Представляется, что обнаруженные эмпирические эффекты и их анализ может быть использован при построении агентно-ориентированных моделей российского фондового рынка для изучения вопроса влияния введения новых инструментов или правил торгов на волатильность рынка. На основе полученных оценок тяжести хвостов могут быть описаны ожидаемые в модели экстремальные выбросы и уровень волатильности. Статистические

данные и выявленные эффекты могут использоваться для проверки соответствия данных, порождаемых моделями, реальным финансовым временным рядам.

Характеристики российского фондового рынка сравнивались с динамикой развитых и развивающихся фондовых рынков. Сравнение было проведено на основе описательных статистик для доходностей российского индекса MOEX, индийского BSE, бразильского BOVESPA, аргентинского Merval, китайского SSE Composite, гонконгского Hang Seng, японского Nikkei225, французского CAC40, английского FTSE100, американских S&P500 и NASDAQ100. В отличие от предыдущих исследований был увеличен рассматриваемый период и расширен набор индексов, что позволило выявить некоторые общие эффекты, наблюдаемые в динамике развитых и развивающихся рынков.

Анализ статистических данных о дневных доходностях мировых фондовых индексов развитых и развивающихся стран показал, что в динамике индекса Московской биржи наблюдаются наибольшие отклонения от среднего значения, а точечные оценки индекса тяжести хвостов ξ_{RS} при 10%-ном и 5%-ном усечении ($\xi_{RS(10\%)} = 2.76$, $\xi_{RS(5\%)} = 2.93$) ниже оценок других индексов, за исключением английского индекса FTSE100 ($\xi_{RS(10\%)} = 2.5$, $\xi_{RS(5\%)} = 3.01$). Проценты наблюдений, превышающих 3 и 4 стандартных отклонения от среднего, находятся в интервалах от 1.2% до 1.93% и от 0.5% до 0.78% соответственно. Наибольшее отклонение от среднего наблюдалось для индекса MOEX (12.48 стандартных отклонений), а минимальное – для китайского SSE (5.46 стандартных отклонений).

Точечные оценки индекса тяжести хвостов ξ_{RS} для большинства мировых индексов достаточно близки для левого и правого хвостов, 95%-ные доверительные интервалы для полученных оценок не пересекаются только в случаях аргентинского индекса Merval, американского NASDAQ, гонконгского Hang Seng и японского Nikkei225 – для данных индексов характерна асимметрия положительных и отрицательных доходностей. Для всех рассматриваемых индексов преобладает процент положительных изменений доходностей, превышающих 3 и 4 стандартных отклонения от среднего, за исключением американских фондовых индексов. При этом для всех индексов максимальные отклонения от среднего значения для отрицательных изменений доходностей превышают положительные и лежат в интервалах (5.71, 11.84) и (8.79, 18.61) соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют о чрезмерной реакции российского рынка на различные внутренние и внешние кризисные потрясения. Индексу Московской биржи соответствуют наибольшие выбросы, что указывает на подверженность акций российских компаний к значительным ценовым колебаниям. При этом было показано, что основные закономерности, наблюдаемые на мировых фондовых рынках, также свойственны и для большинства акций российского фондового рынка.

2. Разработана модель финансового рынка и адаптирована для российского фондового рынка. По сравнению с существующими аналогами предложенные структура и реализация позволили расширить описательные свойства модели рынка и воспроизвести ценовые колебания и характерные черты поведения крупных участников торгов на рынке. Разработанная модель построена с использованием модели финансового рынка [Turner, Farmer, Geanakoplos, 2012], но отличается своей структурой и программной реализацией. В основную модель внесены изменения в правила взаимодействия агентов и организации торговли на искусственном финансовом рынке.

В базовой модели рассматривается рынок с одним активом. В торговле участвуют «шумовые» трейдеры, совершающие сделки случайным образом, инвестиционные фонды, которые стараются купить актив на основе собственной оценки справедливой цены. Банки выдают кредиты фондам под залог активов, а инвесторы вкладывают средства в наиболее прибыльные фонды. В предложенной в диссертации структуре реализуются наблюдаемые на российском фондовом рынке эффекты. Ключевые параметры модели и взаимодействия между участниками торгов настраиваются таким образом, чтобы модель воспроизводила особенности поведения участников торгов и свойства экстремальных колебаний.

В описанной базовой структуре рынка реализован только один единственный способ моделирования «толстых хвостов» в распределении доходностей актива через кредитное плечо – чрезмерные заимствования и регулирование размеров плеча являлись главными причинами усиления волатильности на рынке и внезапных и значительных падений цен на активы. Реализация различных механизмов влияния взаимодействий между агентами на ценовые колебания актива представлена далее на основе изменения правил регулирования кредитного плеча и добавления в модель новых финансовых инструментов.

В разработанной модели спрос инвестиционных фондов на актив в периоды низкой волатильности не преобладает над спросом «шумовых» трейдеров, в отличие от базовой модели, где каждый инвестиционный фонд ориентируется на одинаковую справедливую стоимость актива и поэтому в такие периоды в процессе торговли цена актива постепенно стабилизируется. При различных значениях фундаментальной стоимости актива действия фондов будут менее синхронизированными и продолжительных периодов с повышенной волатильностью в модели становится больше. Данное поведение участников торгов более свойственно для российского фондового рынка, на котором низкая ликвидность является причиной недооценки стоимости из-за отсутствия объективных критериев оценки.

Следующее важное изменение заключается в том, что большую часть времени на ценовые колебания актива значительное влияние оказывают «шумовые» трейдеры, а доля инвестиционных фондов и «шумовых» трейдеров со временем устанавливается примерно

на одинаковом уровне. Для этого изменяются параметры функций спроса и регулируется интерес инвесторов к фондам на основе скользящей средней недавних результатов через минимальную ожидаемую доходность вложений, которая фактически определяет размер доли «шумовых» трейдеров и инвестиционных фондов. Представляется, что описанным способом реализуется особенность, характерная для российского фондового рынка, где доля неквалифицированных участников торгов преобладает над долей более опытных и осведомлённых инвесторов.

Спрос инвестиционных фондов также основывается на сигнале ошибочной оценки цены актива. Когда цена отклоняется от справедливого значения, инвестиционный фонд, в зависимости от чувствительности к отклонению и размера финансового рычага, покупает активы. Предложенная в диссертации реализация модели допускает различные способы регулирования размера кредитного плеча. Таким образом проверяется гипотеза о том, что требование банка по обеспечению кредита может не являться главной причиной усиления волатильности на рынке. Предлагается рассматривать вариант отсутствия ограничений на заимствования, фиксированное максимально возможное плечо или регулирование размера плеча на основе текущей волатильности на рынке.

Кредитное плечо λ_h инвестиционного фонда h задаётся как отношение стоимости активов $D_h(t)p(t)$ к его собственным средствам $W_h(t)$

$$\lambda_h = \frac{D_h(t)p(t)}{W_h(t)} = \frac{D_h(t)p(t)}{D_h(t)p(t) + C_h(t)},$$

где $p(t)$ – цена актива, $D_h(t)$ – спрос фонда, $W_h(t)$ – собственные средства фонда, $C_h(t)$ – наличные средства (сумма кредита).

Размер кредитного плеча λ_h для каждого фонда ограничивается величиной $\lambda_{\max}$, которая устанавливается банком. Если данное условие нарушится

$$\lambda_h(t) = D_h(t-1)p(t) / W_h(t) > \lambda_{\max},$$

то фонд по требованию банка будет вынужден продать часть активов для приведения значения используемого кредитного плеча λ_h к допустимому уровню $\lambda_{\max}$.

Более адаптивное регулирование основано на корректировке банком ограничений на заёмные средства, исходя из текущей волатильности на финансовом рынке

$$\lambda_{reg}(t) = \max\left\{1, \frac{\lambda_{\max}}{1 + k\sigma_\tau^2}\right\},$$

где k является показателем отношения банка к волатильности σ_τ цены актива на рынке, τ – рассматриваемый промежуток времени.

Динамика средств $W_h(t)$ фонда h зависит от результатов торговли на рынке, а также от интереса инвесторов к фонду. Сначала задаётся начальный объём средств $W_0 = W_h(0)$, а его изменение происходит в соответствии с правилом

$$W_h(t) = W_h(t-1) + (p(t) - p(t-1))D_h(t-1) + F_h(t),$$

где $F_h(t)$ – поток капитала, который определяется интересом инвесторов к результатам работы инвестиционного фонда на основе его доходности. В построенной модели влияние инвесторов на динамику средств фондов усиливается при увеличении волатильности на рынке. Для этого настраиваются параметры скользящего среднего ожидаемой доходности, которые определяют реакцию инвесторов на уменьшение доходности фондов. Описанным способом делается попытка реализовать повышенную чувствительность динамики рынка к кризисным явлениям и асимметричное отношение к риску со стороны инвесторов, что в основном свойственно для российского фондового рынка. При возникновении внутренних или внешних потрясений, связанных, например, с введением новых санкций, инвесторы, преимущественно иностранные, стараются продавать акции российских компаний. Таким образом они усиливают волатильность на российском фондовом рынке.

Описанная структура модели финансового рынка была реализована на языке Python. Основные параметры правил взаимодействия между агентами были подобраны исходя из особенностей российского фондового рынка и выявленных ранее эмпирических эффектов при исследовании динамики фондового рынка России. На основе многократных имитаций работы построенного рынка изучалось влияние на динамику базового актива введённых поведенческих предубеждений инвесторов и особенностей, характерных для российского рынка. Гипотеза о возможном неоднородном влиянии структуры рынка с предложенными настройками параметров подтвердилась. Однако при этом в разработанной модели рынка не удалось воспроизвести асимметричные всплески волатильности актива, наблюдаемые в динамике акций российских компаний.

3. Предложены модификации разработанной агентно-ориентированной модели финансового рынка. Модификации заключались в введении права совершения коротких продаж для фондов и возможности использования опционов для банков. Дополнительные инструменты включены в модель с целью исследования влияния различных механизмов взаимодействия между агентами друг на друга и на ценовые колебания актива.

Для страхования банками выданных инвестиционным фондам кредитов в модель вводится возможность использования опционов. Банк приобретает опционы на продажу активов, находящихся у него в качестве залога, по фиксированной цене в будущем. Таким образом, он получает возможность застраховать себя от непредвиденных падений цены на

актив и потери стоимости обеспечения. Затраты на содержание опциона оплачиваются за счёт инвестиционных фондов. А стоимость европейского опциона на продажу в момент времени t определяется в соответствии с формулой Блэка-Шоулза:

$$C(p(t), t) = Ke^{-r(T-t)}N(-d_2) - p(t)N(-d_1),$$

$$d_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{T-t}} \left(\ln \frac{p(t)}{K} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2} \right) (T-t) \right),$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t},$$

где $p(t)$ - текущая цена актива, K - цена исполнения опциона, r - безрисковая ставка, σ - волатильность доходности базового актива, $N(d)$ - функция распределения стандартного нормального распределения, $T-t$ - время до истечения срока действия опциона.

В случае банкротства фонда или значительного падения цены актива, банк может задействовать опцион и продать активы из залога по цене в предыдущий момент времени умноженной на коэффициент собственного капитала фонда

$$K(p(t), \lambda_h(t)) = p(t) \left(1 - \frac{1}{\lambda_h(t)} \right).$$

Данным образом реализуется зависимость стоимости опциона от размера кредитного плеча – при увеличении заимствований со стороны фонда увеличивается цена исполнения, так как повышается вероятность банкротства фонда. Соответственно стоимость опциона будет рассчитываться исходя из текущей цены актива $p(t)$, исторической волатильности $\sigma(t)$ и кредитного плеча $\lambda_h(t)$ инвестиционного фонда

$$P_h(t) = P_h(p(t), \sigma(t), \lambda_h(t)).$$

Изменение динамики средств $W_h(t)$ фонда будет включать затраты $D_h(t-1)P_h(t-1)$ на содержание опциона. Данная модификация осуществляется с целью уменьшения влияния на динамику актива инвестиционных фондов, использующих большее кредитное плечо, и включение в модель риска исполнения опциона при банкротстве фонда. Таким образом, изменение средств будет происходить в соответствии со следующим правилом

$$W_h(t) = W_h(t-1) + (p(t) - p(t-1))D_h(t-1) + F_h(t) - D_h(t-1)P_h(t-1).$$

Для ограничения затрат $D_h(t-1)P_h(t-1)$ на содержание опциона при волатильности σ , текущей цене актива $p(t)$ и максимально допустимом кредитном плече $\lambda_{\max}(t)$ банком устанавливаются максимально возможные затраты на страхование кредита

$$P_{\max}(t) = P_h(p(t), \sigma, \lambda_{\max}(t)),$$

где $\lambda_{\max}(t) = \min\{\lambda_{\max}, \lambda_{\max}^h(t)\}$, а $\lambda_{\max}^h(t)$ определяется из следующего уравнения

$$P_{\max}(t) = P_h(p(t), \sigma(t), \lambda_{\max}^h(t)).$$

Для более реалистичного воспроизведения поведения участников торгов в модель вводится возможность совершения коротких продаж. В этом случае кредитное плечо λ_h определяется как отношение кредитной суммы средств $C_h(t)$ к собственным $W_h(t)$

$$\lambda_h = \frac{W_h(t) - D_h(t)p(t)}{W_h(t)} = \frac{C_h(t)}{D_h(t)p(t) + C_h(t)}.$$

Спрос фондов $D_h(t)$ будет также основываться на сигнале ошибочной оценки цены актива $m(t) = V - p(t)$. Инвестиционный фонд в зависимости от текущей цены актива $p(t)$ и от присвоенного ему по умолчанию параметра отношения к риску β_h будет совершать покупку или продажу актива в соответствии со следующим правилом

$$D_h(t) = \begin{cases} (1 - \lambda_{\max})W_h(t) / p(t), & m(t) \leq m_{\text{crit}}^{\text{short}} \\ \lambda_{\max} W_h(t) / p(t), & m(t) > m_{\text{crit}}^{\text{long}} \\ \beta_h m(t) W_h(t) / p(t), & m_{\text{crit}}^{\text{short}} < m(t) \leq m_{\text{crit}}^{\text{long}} \end{cases}$$

где $m_{\text{crit}}^{\text{short}}$, $m_{\text{crit}}^{\text{long}}$ - критические уровни сигнала на продажу и соответственно на покупку.

Банком используется европейский опцион на покупку с ценой исполнения опциона

$$K(p(t), \lambda_h(t)) = p(t) \left(1 + \frac{1}{\lambda_h(t) - 1}\right).$$

Собственные средства инвестиционного фонда рассчитываются исходя из уравнения

$$W_h(t) = W_h(t-1) + (p(t) - p(t-1))D_h(t-1) + F_h(t) + D_h(t-1)P_h(t-1).$$

Предложенные модификации позволили реализовать различные механизмы влияния взаимодействий между участниками торгов на ценовую динамику актива. При добавлении в модель возможности использования опционов реализовывались сценарии уменьшения волатильности на рынке за счёт более мягкого регулирования динамики средств фондов с использованием увеличения затрат на содержание опциона при увеличении уровня плеча. Результат данного изменения зависел от начальной структуры – в случае базовой модели волатильность на рынке со временем уменьшалась, а в остальных случаях стабилизации не происходило. Реализация в модели возможности использования коротких продаж для фондов позволила крупным участникам торгов оказывать влияние на ценовые колебания актива при переоценке его стоимости, тем самым уменьшая асимметрию положительных и отрицательных доходностей. При этом наблюдаемые на искусственных рынках эффекты существенным образом зависели от состава участников торгов.

Проценты наблюдений, превышающих 3 и 4 стандартных отклонения от среднего, в базовой модели находятся в интервалах (0, 1) и (0, 0.2) соответственно, а максимальное отклонение от среднего значения не превышает 10 стандартных отклонений. Включение в

модель возможности использования коротких продаж и опционов позволило увеличить проценты значительных выбросов в данных и приблизить к значениям, наблюдаемым на российском фондовом рынке. Отметим, что в случае добавления возможности совершения коротких продаж для участников торгов точечные оценки индекса тяжести хвостов были ниже оценок, полученных в остальных возможных случаях.

Таким образом, анализ полученных статистических результатов о поведении цены актива на модифицированных искусственных рынках показал, что наличие возможности совершения коротких продаж оказывает наибольшее влияние на волатильность рынка и уменьшает асимметрию в динамике доходностей актива при включении в базовую модель с «шумовыми» трейдерами, фондами и инвесторами. При этом использование опционов уменьшает данный эффект и позволяет добиться необходимого уровня асимметричности, соответствующего российскому фондовому рынку. Для объяснения причин выявленных различий в свойствах экстремальных ценовых колебаний и интерпретации наблюдаемых на модифицированных рынках эффектов предлагается подход к исследованию кризисных явлений с использованием построенных моделей.

4. Разработан подход к исследованию кризисных явлений с использованием построенных моделей. Согласно разработанному подходу, предлагается рассматривать механизмы и их комбинации в различных структурах для содержательного объяснения кризисных явлений в модели финансового рынка.

Сложность большинства существующих имитационных моделей финансового рынка зачастую не позволяет определить, какие именно взаимодействия участников торгов или финансовые инструменты привели в ходе имитаций работы искусственного финансового рынка к возникновению наблюдаемых явлений и все ли элементы модели необходимы для воспроизведения и объяснения эмпирических эффектов. Представленный в диссертации комплекс имитационных моделей финансового рынка используется для решения данной проблемы – особенности рынка исследуются на основе многократных имитаций процесса торгов при всех возможных комбинациях агентов и финансовых инструментов, таких как короткие продажи, опционы и кредиты, выдаваемые под залог финансовых активов.

В отличие от предшествующих аналогов разработанный комплекс моделей включает возможность реализации различных механизмов возникновения экстремальных колебаний цены (через короткие продажи, инструменты страхования рисков и кредиты, выдаваемые под залог активов), поэтому он позволяет исследовать зависимость формы распределений доходностей актива в кризисные периоды от включённых в модель агентов и доступных для использования финансовых инструментов. Данный подход также позволил проверить объяснения причин возникновения кризисных явлений в рамках разработанных моделей.

На основе предложенного подхода были выявлены причины существенных различий в поведении цены актива на построенных искусственных финансовых рынках – например, добавление в модель коротких продаж оказало различное воздействие на динамику цены актива: при участии в торговле только «шумовых» трейдеров и инвестиционных фондов и в случае, когда в модель были также включены инвесторы. В первом случае наблюдалось уменьшение волатильности актива на протяжении всего периода времени моделирования работы финансового рынка и стремительный рост собственных средств инвестиционных фондов (см. рис. 1-а). Подобная динамика была обусловлена появлением дополнительных возможностей увеличения доходности и устранением фондами возникающих отклонений текущей цены от фундаментальной стоимости актива.

Во втором случае волатильность актива немного увеличивалась, наблюдались более значительные ценовые колебания, а динамика средств фондов становилась нестабильной и разнообразнее (см. рис. 1-б). Наблюдаемая нестабильность на рынке была связана с тем, что инвесторы постоянно вкладывали и снимали свои средства со счетов инвестиционных фондов, исходя из текущих результатов работы фондов на финансовом рынке. При этом в таком случае уменьшалось влияние правил регулирования кредитного плеча на динамику цены актива, так как инвесторы своими действиями способствовали увеличению средств фондов при значительном возрастании ценовых колебаний актива и их уменьшению при падении волатильности на финансовом рынке.

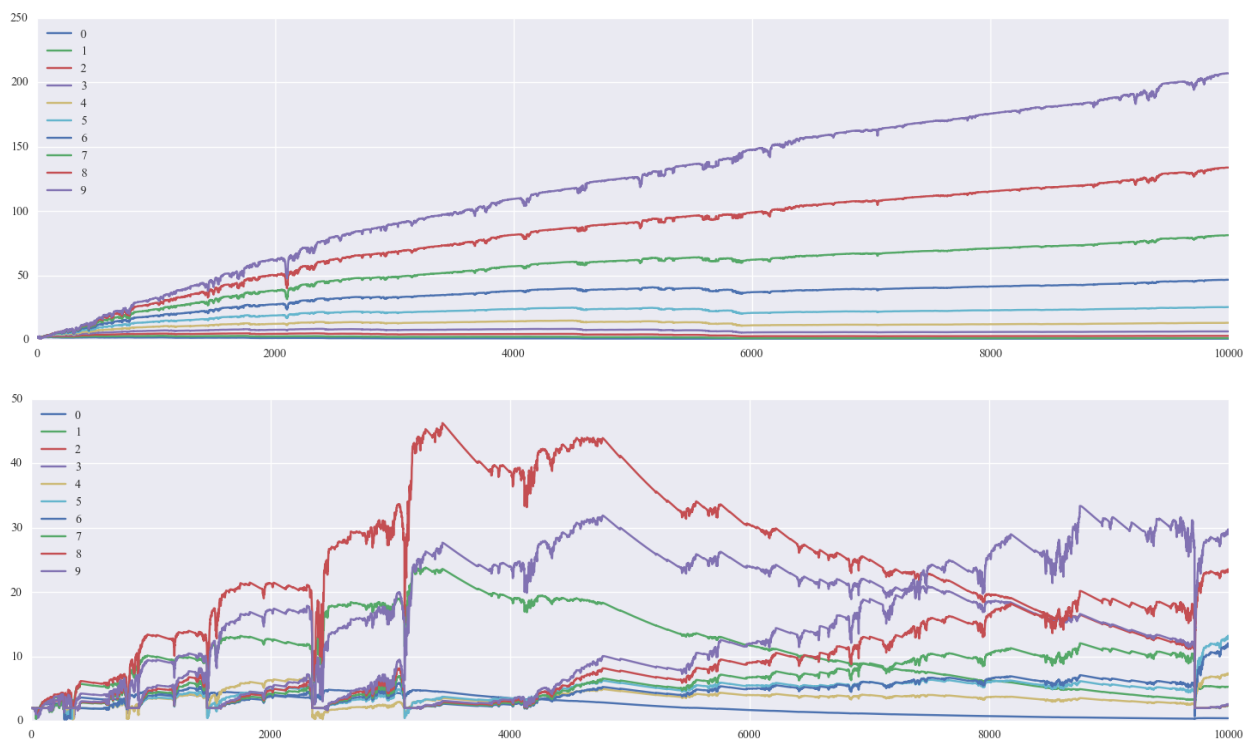


Рис. 1. Динамика средств фондов при симуляциях: а) с фондами и возможностью коротких продаж; б) с фондами, инвесторами и возможностью коротких продаж.

Источник: построено автором на основе результатов имитационного моделирования

Добавление возможности использования опционов на базовый рынок с «шумовыми» трейдерами и фондами с течением времени стабилизировало динамику актива и средства фондов с определённого момента постепенно увеличивались (см. рис. 2-а). Причина этого эффекта была в том, что в начале использование банками опционов усиливало колебание цены актива на рынке, так как обеспечение по кредитам было небольшим, но со временем, когда средства фондов подросли, опционы практически не задействовались банками и они не оказывали такого сильного влияния на динамику средств фондов. Поэтому влияние на динамику актива регулирующих мер значительно уменьшалось из-за увеличения средств, находящихся под управлением инвестиционных фондов.

При наличии инвесторов в модели с «шумовыми» трейдерами и инвестиционными фондами данное изменение не приводило к подобной стабилизации рынка: повышенная волатильность актива на рынке наблюдалась в течение всего имитационного периода, а динамика средств фондов соответственно была более нестабильной (см. рис. 2-б). В таком случае действия инвесторов приводили к увеличению средств фондов только в начальном периоде времени. Дальше происходило увеличение заимствований со стороны фондов из-за уменьшения волатильности на рынке, соответственно затраты на содержание опционов возрастали, что снизило влияние крупных инвестиционных фондов на ценовую динамику актива. Поэтому на рынке уменьшалось количество внезапных и значительных изменений цены актива, но при этом в целом волатильность на рынке возрастала.

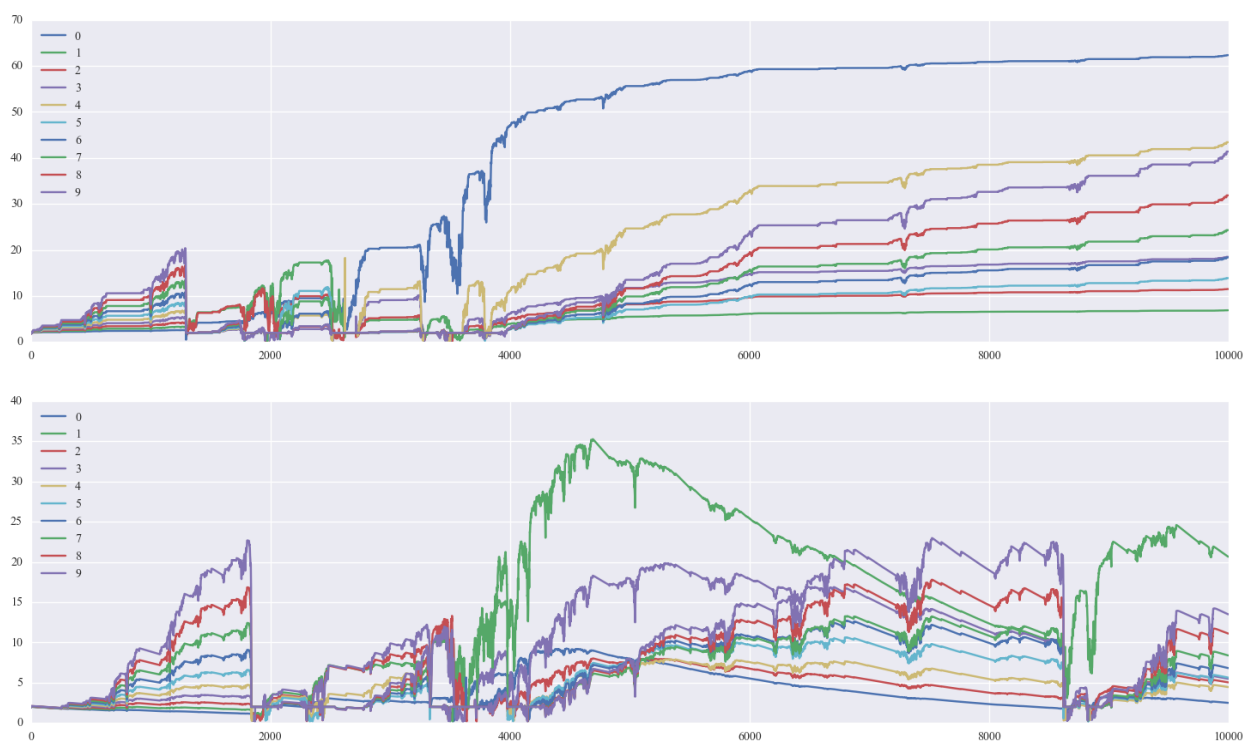


Рис. 2. Динамика средств фондов при симуляциях: а) с фондами и возможностью страхования; б) с фондами, инвесторами и возможностью страхования.

Источник: построено автором на основе результатов имитационного моделирования

Наличие одновременно возможности коротких продаж для инвестиционных фондов и опционов для банков приводило к внезапным и значительным падениям цены на актив в первой половине имитационного периода и к существенному уменьшению волатильности и стабильному росту средств фондов во второй половине (см. рис. 3-а). Инвестиционные фонды благодаря возможности совершения коротких продаж уменьшали волатильность актива на финансовом рынке, что способствовало ослаблению регулирования со стороны банков и соответственно к увеличению заимствований и собственных средств фондов. Но в таком случае требовалось определённое время для стабилизации рынка, так как опционы задействовались при небольших колебаниях цены актива и приводили к падению средств инвестиционных фондов и соответственно к увеличению волатильности.

Наличие инвесторов в рассматриваемой модели усиливало ценовые колебания и не позволяло инвестиционным фондам увеличивать собственные средства и стабилизировать со временем ситуацию на рынке (см. рис. 3-б). В данном случае даже небольшое падение цены актива могло сильно уменьшить стоимость обеспечения по кредиту из-за активных действий со стороны инвесторов – это вынуждало фонды продавать активы на рынке, а банки задействовать опционы, что зачастую приводило к дальнейшему падению цены. Таким образом, активное использование участниками торгов коротких продаж и опционов с целью сокращения риска банкротства увеличивало общий системный риск внезапных и существенных изменений цены актива на искусственном финансовом рынке.

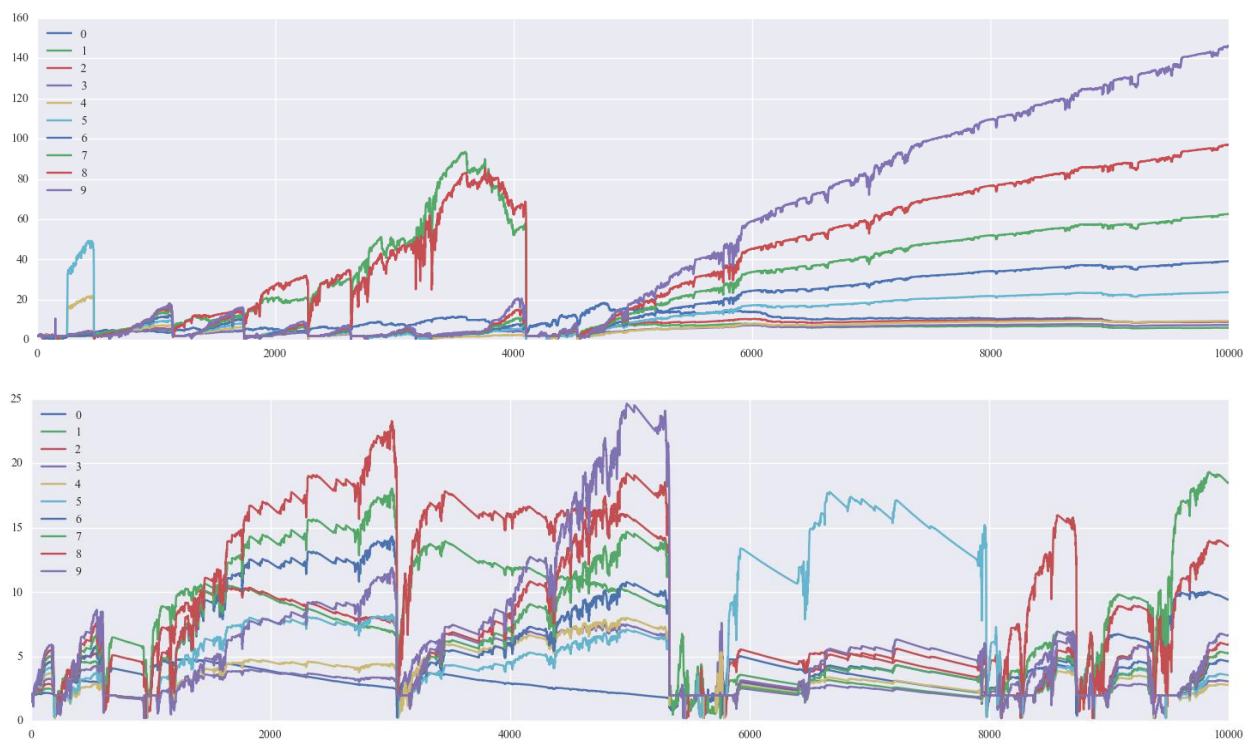


Рис. 3. Динамика средств фондов при симуляциях: а) с фондами, возможностями страхования и коротких продаж; б) с фондами, инвесторами, возможностями страхования и коротких продаж.

Источник: построено автором на основе результатов имитационного моделирования

Анализ результатов многократных имитаций работы рассматриваемых финансовых рынков позволил выявить эндогенные стимулы инвестиционных фондов к увеличению размеров используемого кредитного плеча. Наблюдаемая конкуренция между фондами за дополнительные средства инвесторов способствовала увеличению кредитной нагрузки и приводила к уменьшению волатильности на рынке. Однако, подобная стабилизация рынка практически во всех случаях была временным и очень хрупким явлением. На самом деле, увеличение долговых обязательств фондов постепенно переводило финансовый рынок в неустойчивое состояние, в котором вероятность значительных ценовых колебаний актива с течением времени существенно возрастала.

5. Проведена валидация разработанного комплекса моделей финансового рынка: построенные модели способны воспроизводить эффекты, наблюдаемые на мировых финансовых рынках – в частности, на российском фондовом рынке.

Искусственные финансовые временные ряды, полученные в имитационных моделях, обычно проверяются на соответствие реальным данным на основе качественной проверки возможности воспроизведения «стилизированных фактов» (stylized facts) о волатильности, к которым относятся «толстые хвосты» и кластеризация волатильности. В диссертации предлагается использовать метод проверки на основе количественных оценок индексов тяжести хвостов распределений доходностей актива в построенных моделях финансового рынка. Оценки индексов тяжести хвостов распределений получены методом наименьших квадратов с применением лог-лог-ранг-размер (log-log rank-size) регрессии с оптимальным смещением, что позволило получить робастные оценки индексов тяжести хвостов.

Построенные модели финансового рынка являются упрощениями реального рынка, поэтому количественная проверка соответствия ценовых колебаний актива в построенных моделях реальным финансовым временным рядам зачастую в моделях рассматриваемого типа не проводится – она ограничивается визуальным подтверждением наличия в ценовых колебаниях актива «стилизированных фактов» о волатильности. Для реализации проверки на реальных данных предлагается количественно сравнить оценки индексов тяжести хвостов распределений доходностей актива в построенной модели с полученными ранее оценками индексов тяжести хвостов распределений доходностей акций российских компаний. При этом в качестве дополнительных критериев используется проверка способности моделей воспроизводить кластеризацию волатильности и асимметричные всплески волатильности, наблюдаемые в динамике акций на российском фондовом рынке.

Базовая модель финансового рынка с «шумовыми» трейдерами и инвестиционными фондами не воспроизвела экстремальные свойства распределения реальных доходностей при всех реализованных имитациях. В таком случае наблюдалась чрезмерная асимметрия

положительных и отрицательных доходностей, так как на рынке были разрешены только покупки для фондов. Включение инвесторов не приводило к значительному уменьшению асимметрии. Наличие возможности использования коротких продаж и опционов в базовой модели позволило приблизить процент экстремальных отклонений в ценовых колебаниях актива на искусственном рынке к значениям, наблюдаемым на российском рынке. Оценки тяжести индексов хвостов находились в интервале (2, 4), а при исключении инвесторов из модели попадали в интервал (1, 4), что соответствует оценкам, полученным на российском фондовом рынке. При этом базовая модель с «шумовыми» трейдерами, инвестиционными фондами и инвесторами показывала оценки индексов тяжести хвостов в интервале (3, 5).

Оценки индексов тяжести левого и правого хвостов доходностей актива позволили выявить асимметрию отрицательных доходностей в случае наличия инвесторов в модели и при добавлении возможности использования опционов на рынок с инвестиционными фондами и «шумовыми» трейдерами. Наличие возможности совершения коротких продаж на рынке уменьшало асимметрию. При этом 95% доверительные интервалы для точечных оценок индекса тяжести хвостов ξ_{RS} при 10%-ном и 5%-ном усечении не пересекались во всех случаях, за исключением моделей, не включавших инвесторов. Полученные оценки позволили продемонстрировать зависимость формы распределений доходностей актива от включённых в модель агентов и доступных для использования инструментов.

Разработанный комплекс моделей рынка способен воспроизводить асимметричные всплески волатильности. Волатильность актива (за десять дней) в моделях сравнивалась с динамикой индекса волатильности VIX, который является показателем подразумеваемой волатильности индекса S&P500. Данные нормализуются, чтобы пики имели одинаковую высоту, а временная ось смещена для наблюдения пиков примерно в одно время. Во всех рассматриваемых случаях происходили всплески волатильности и постепенное затухание, таким образом образовывались характерные асимметричные пики. Данный эффект можно объяснить быстрой реакцией участников торгов на кризисные явления и постепенным восстановлением рынка после значительного падения цен финансовых активов.

Добавление в базовую модель с «шумовыми» трейдерами, фондами и инвесторами возможности использования коротких продаж для участников торгов увеличивало число экстремальных выбросов и позволило приблизить динамику индекса волатильности VIX. При сравнении пиков на построенных искусственных рынках и в моделях GARCH (1,1) и GJR-GARCH (1,1) было выявлено, что первая модель уступает модели финансового рынка с фондами и возможностью использования коротких продаж. Вторая модель, в которой учитывается асимметрия в реакции волатильности на изменения доходности, ожидаемо показала наилучшие результаты из всех рассматриваемых моделей.

III. Основные выводы и результаты исследования

В диссертационной работе разработан и исследован комплекс агентных моделей финансового рынка, который позволяет воспроизводить и интерпретировать процессы, происходящие в периоды нестабильной работы финансовых рынков. Комплекс включает базовый финансовый рынок и модификации, полученные в результате изменения состава участников торгов и финансовых инструментов, а также параметров и правил поведения. На основе анализа результатов многократных контролируемых имитаций с различными ключевыми параметрами исследовалось влияние взаимодействий участников финансовых отношений, коротких продаж, маржинальных кредитов и финансовых инструментов на динамику рынка. Анализ и верификация разработанного комплекса моделей позволили сформулировать следующие основные результаты и выводы.

При изучении разворачивания кризисных ситуаций на искусственных рынках были определены возможные триггеры, приводящие к значительному изменению цены актива. Выявлены негативные эффекты от использования агентами инструментов по управлению рисками, опционов и коротких продаж. Реализация всех возможных сценариев показала стабильную работу рынка в периоды небольших заимствований и увеличение вероятности сильных ценовых колебаний актива при их увеличении. При этом инвесторы, совершая регулярные изменения суммы средств на счетах инвестиционных фондов, в первом случае способствовали стабилизации, а во втором – приводили к ускорению развития кризисных явлений на искусственном финансовом рынке.

Многократные имитации работы построенных искусственных финансовых рынков позволили продемонстрировать особенности поведения крупных участников торгов. При увеличении волатильности на рынке инвестиционные фонды увеличивают заимствования с целью получения дополнительной прибыли. В результате таких действий уменьшается волатильность на рынке и увеличиваются долговые обязательства. Небольшое усиление колебания цен на активы, вызванное действиями других участников торгов, приводит к значительному уменьшению стоимости гарантийных обеспечений по кредитам и таким образом вынуждает фонды продавать свои активы для погашения задолженности перед банками. Одновременные продажи нескольких инвестиционных фондов могут привести к обвальному падению цен на финансовые активы.

В рамках разработанных моделей финансового рынка показано, что использование банками опционов или ограничений на заимствования на основе текущей волатильности с целью страхования от значительных падений цен приводит к усилению волатильности на финансовом рынке. Уровень максимально допустимого кредитного плеча поднимается в периоды небольшой волатильности и снижается при увеличении волатильности на рынке,

усиливая падения цен на финансовые активы. Таким образом, попытка регулировать риск на микроуровне может увеличивать общий системный риск. Представляется, что решение данной проблемы заключается в создании регулирования на основе сбора информации о закредитованности агентов в единой системе и принятии решения об уровне максимально возможного кредитного плеча для каждого агента на основе собранной информации.

Для валидации комплекса моделей финансового рынка предложено использование оценок тяжести хвостов распределений доходностей, полученных методом наименьших квадратов с применением лог-лог-ранг-размер регрессии с оптимальным смещением. На основе анализа оценок индексов тяжести выявлена зависимость экстремальных свойств распределений доходностей от включённых в модель агентов и инструментов. Наиболее реалистичные оценки, соответствующие динамике акций российского фондового рынка, ожидаемо были получены на финансовом рынке с наличием возможностей осуществления коротких продаж и использования опционов. Количественные оценки позволили показать, что модель рынка с наличием возможности коротких продаж в отличие от базовой модели способна воспроизводить асимметричные всплески волатильности.

На основе полученных результатов многократных имитаций работы искусственного финансового рынка сделан вывод о том, что при регулировании рынка важно учитывать не только прямое влияние отдельных финансовых инструментов или агентов на ценовые колебания активов, но и результат взаимодействия с другими участниками финансовых отношений, который, как было выявлено в рамках разработанного комплекса моделей, может отличаться по своему характеру и степени влияния. Например, введение запрета или ограничений на использование коротких продаж, опционов или других финансовых инструментов может по-разному воздействовать на динамику рынка в краткосрочной и долгосрочной перспективе. При этом эффект регулирующих мер также зависит от состава участников торгов и действующих правил организации торговли на рынке.

Дальнейшее направление исследования видится в применении построенных моделей для изучения вопросов о влиянии на ценовые колебания активов различных финансовых инструментов, позволяющих страховать от рисков. На основе предложенного подхода к исследованию кризисных явлений возможно изучение последствий принятия решений по регулированию рынка. Программная реализация моделей финансового рынка может быть использована для моделирования других механизмов взаимодействия участников торгов, которые могут приводить к значительным изменениям в динамике цены актива. При этом актуальным представляется изучение эффектов, оказываемых различными механизмами и взаимодействиями участников торгов друг на друга и на волатильность рынка.

IV. Список работ, опубликованных по теме диссертации

Работы, опубликованные в списке рецензируемых научных изданий, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

1. Уляев Л.Р. Изучение особенностей поведения финансового рынка на основе агентно-ориентированного моделирования // Финансы и кредит. – 2019. – №8. – С. 1869-1888. – 2,78 п.л. Импакт-фактор РИНЦ 2017 – 0,693.
2. Уляев Л.Р. Эмпирические свойства динамики цен акций на российском фондовом рынке // Финансы и кредит. – 2019. – №5. – С. 1166-1182. – 2,36 п.л. Импакт-фактор РИНЦ 2017 – 0,693.
3. Уляев Л.Р. Моделирование влияния коротких продаж на волатильность финансового рынка на основе агентно-ориентированного подхода // Интеллект, инновации, инвестиции – 2018. – №7. – С. 51-60. – 1,27 п.л. Импакт-фактор РИНЦ 2017 – 0,224.
4. Уляев Л.Р. Моделирование влияния инструментов управления индивидуальными рисками на волатильность финансовых активов // Аудит и финансовый анализ. – 2017. – № 5-6. – С. 653-659. – 0,72 п.л. Импакт-фактор РИНЦ 2017 – 0,362.

Публикации в других научных изданиях

5. Уляев Л.Р. Необходимость комбинированного подхода к моделированию кризисных явлений на финансовом рынке // Философия хозяйства. – 2017. – № 3. – С. 132-138. – 0,46 п.л. Импакт-фактор РИНЦ 2017 – 0,209.
6. Уляев Л.Р. О проблеме чрезмерных внешних заимствований // Философия хозяйства. – 2015. – №6. – С. 230-234. – 0,32 п.л. Импакт-фактор РИНЦ 2017 – 0,209.
7. Уляев Л.Р. О программном комплексе моделирования кризисных явлений на финансовом рынке // Сборник тезисов Международной научной конференции «Ломоносовские чтения – 2019. Экономические отношения в условиях цифровой трансформации» – М.: Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2019. – С. 739-741. – 0.14 п.л.
8. Уляев Л.Р. Моделирование влияния инструментов управления индивидуальными рисками на волатильность финансовых активов // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов – 2017» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2017. – 0.1 п.л.
9. Уляев Л.Р. О некоторых взглядах на нестабильность финансовых рынков // Материалы Международного научного форума «Ломоносов – 2016» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2016. – 0.08 п.л.
10. Уляев Л.Р. Метод Монте-Карло в проблеме оценивания производных финансовых инструментов // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов – 2015» / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2015. – 0.07 п.л.