

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**"САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра математической экономики

Агентный подход к моделированию микроструктуры финансового рынка

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки **4 курса 441 группы**

по направлению **09.03.03 – Прикладная информатика**

механико-математического факультета

Шишиной Екатерины Александровны

Научный руководитель

профессор, д. э. н., профессор

подпись, дата

В.А. Балаш

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

подпись, дата

С.И.Дудов

инициалы, фамилия

Саратов 2019

Введение. Многоагентное моделирование – один из самых распространённых и эффективнейших методов для исследования так называемых децентрализованных систем. Децентрализованные системы – это такие системы, динамика функционирования которых устанавливается не с помощью глобальных правил и законов, а, как раз наоборот, глобальные правила и законы определяются как следствие индивидуальной деятельности агентов, а также взаимодействия агентов друг с другом и со средой обитания.

У финансового рынка существуют два основных значения:

1. это совокупность институтов, то есть множество различных учреждений, на которых на основании рыночных законов спроса и предложения происходит перераспределение капиталов (то есть это участники рынка – эмитенты ценных бумаг, инвесторы; посредники – брокеры и брокерские организации; клиринговые компании; депозитарии и прочие);
2. это система экономических отношений, нацеленных на образование и распределение капитала (то есть все рынки, на которых происходит торговля капиталом).

Одной из разновидностей финансовых рынков является фондовый рынок.

Фондовый рынок – это рынок, на котором в обращении находятся ценные бумаги. Существуют определённые методы, не требующие огромных затрат времени и финансов (например, методы технического анализа), помогающие приумножить своё состояние при помощи торговли на фондовых рынках.

Несмотря на наличие большого числа инструментов технического анализа, а даже, наоборот, благодаря ему, каждый участник определяет для себя наиболее оптимальный способ торговли. Но как отражается деятельность каждого такого индивидуального участника на самом рынке?

Цель работы состоит в том, чтобы при помощи многоагентной модели искусственного рынка исследовать, как поведение множества участников рынка влияет на его функционирование.

Для осуществления этой цели сформирован ряд следующих задач:

1. Изучить основные понятия моделирования: что такое моделирование и какие виды моделей существуют; что такое адекватность моделей и как проводятся проверки на адекватность; в чём заключается взаимосвязь между моделированием и системным анализом; какие существуют под-

ходы в моделировании и чем они отличаются; в чём состоит понятие имитационного моделирования и какие виды имитационного моделирования используются; в чём суть агентного подхода в моделировании (в работе понятия многоагентное и агентное моделирование будут использоваться наравне);

2. Изучить основные понятия финансовых рынков: что такое финансовый рынок; какова структура финансового рынка и как они классифицируются;
3. Построить модель паники на фондовом рынке и исследовать, как различные поведения трейдеров влияют на работу рынка: рассмотреть основные аспекты шумовой торговли; спроектировать и построить модель, зависящую от типов поведения трейдеров и сделать выводы об их влиянии.

Каждый раздел работы соответственно посвящён решению вышеизложенных задач.

Основная часть. В первом разделе рассматриваются основные понятия моделирования. Моделирование – это очень важный инструмент в любой сфере. Человек может, не затрагивая настоящую систему, проводить эксперименты на модели, в которой отражены только нужные в данном опыте аспекты и функции этой системы. И тем самым, он может как угодно менять и подбирать наиболее оптимальные параметры без риска для самой системы. Из вышесказанного можно сделать следующий вывод: моделирование не только помогает человеку познавать мир, но и даёт ему поддержку в принятии решений, поэтому оно стало одним из важнейших методов в различных науках.

Существуют специальные процедуры для проверки модели на соответствие реальной системы – проверки на адекватность, подробная информация про них описана во втором подразделе. Если модель успешно прошла эти проверки, то её можно считать адекватной реальной системе и ставить на ней эксперименты, которые помогут спрогнозировать поведение изучаемой системы, а потому она будет пригодна и полезна для принятия решений относительно реальности.

Далее приведена основная информация о системном анализе, так как его методы лежат в основе моделирования и в основе его подходов:

1. Аналитическое моделирование – это разновидность моделирования, в которой реализация модели происходит в виде различных систем уравнений;
2. Имитационное моделирование – это разновидность моделирования, суть которой заключается в том, что математическая модель реализует алгоритм функционирования изучаемой системы во времени при разнообразных сочетаниях значений параметров самой системы и внешней среды. То есть оно подразумевает построение компьютерной модели и проведение на ней экспериментов с помощью изменения значений различных параметров.
3. Комбинированное моделирование - разновидность моделирования, которая подразумевает сочетание аналитического и имитационного подхода. При использовании комбинированного метода становится доступной реализация практически любых видов задач.

Имитационное моделирование подразделяется на дискретно-событийное, многоагентное (мультиагентное, агентное) и системную динамику, о чём подробно говорится в предпоследнем подразделе. И, наконец, последний подраздел целиком посвящён агентному моделированию, так как в дальнейшем будет построена агентная модель.

Второй раздел начинается с определения понятия финансового рынка: Финансовый рынок – это рынок товаров, ценных бумаг, инвестиций, кредитов, срочных сделок и вкладов. Его особенностью является ценообразование, при котором цена напрямую зависит от спроса и предложения на данный вид товара; а также приводятся операции, совершаемые на нём.

Затем идёт описание структуры управления финансовым рынком: первичным звеном управления является орган управления рынком – это собрание акционеров, следующим по иерархии является орган исполнения – это совет директоров, последний орган в структуре управления – это оперативный орган управления или, так называемое, правление.

Приводится следующая классификация финансовых рынков (с описанием некоторых классов рынков):

1. Товарный рынок – это рынок, на котором происходит торговля товарами;
2. Рынок капитала (долгосрочный):
 - банковский рынок – не получил распространения в Российской Федерации, но является довольно распространённым в Японии и Германии;
 - фондовый рынок – рынок, на котором осуществляются операции с ценными бумагами (также приводится его подразделение на различные виды по определённым критериям);
3. Срочный рынок – это рынок, который объединяет фондовый, денежный и товарный рынки, но торговля на нём осуществляется только фьючерсами и опционами.
4. Денежный рынок (краткосрочный):
 - Кредитный – это рынок денежных (ссудных) капиталов, предоставляемых организациям, банкам, государству с целью получения процента от них;

- Валютный – это рынок, на котором происходит купля-продажа валют различных государств в соответствии с информацией о спросе и предложении на них. Объектом торговли на этом рынке является валютная пара – это соотношение двух валют, в результате которого формируется курс.

В третьем разделе описывается построение модели фондового рынка. Основополагающим аспектом многоагентного моделирования фондового рынка является индивидуальное поведение трейдеров, то есть индивидуальное поведение агентов модели. В литературе встречается разделение трейдеров на рациональных (арбитражеры) и иррациональных (шумовых). Поэтому перед непосредственно построением приводится теория шумовых торговли. Согласно этой теории:

1. Все участники рынка подразделяются на рациональных (арбитражеров) и иррациональных (шумовых). Влияние на спрос рациональных инвесторов оказывают новости фундаментального характера (политические, экономические, рыночные, статистические и прочие), то есть вся та информация о макроэкономических показателях, которая является значимой для процесса ценообразования. Действия шумовых инвесторов на рынке основаны на эмоциях, предположениях и слухах.
2. Арбитраж – это те операции с активами, которые проводят рациональные инвесторы, на которых, как уже было сказано выше, не оказывает влияния информация нефундаментального характера. Операция арбитража сопряжена с риском, а значит, она является ограниченной.

Для построения и прогонов модели была выбрана среда разработки Anylogic, так как она является наиболее доступной (существует специальная бесплатная версия для студентов) и имеет широкий функционал. Основная задача заключается в разработке всех элементов системы и их взаимодействия друг с другом.

Основными элементами многоагентной модели фондового рынка будут являться участники рынка, то есть агенты.

В гипотетическом модельном рынке будет 1000 агентов.

Каждый агент будет содержать данные о том, сколько у него активов (в самом начале у каждого агента будет 10 единиц актива), о размере своего

личного капитала (доступных ему денежных средств; в самом начале значения капитала агентов будут определяться по равномерному распределению от 90 до 110) и о своей последней закрытой сделке. На начальном этапе у каждого агента будет одно и то же число активов.

Агенты будут создавать свои заявки. Заявка – это информация агента о сделке, которую он хочет заключить. Она состоит из трёх элементов – число акций, направление сделки (покупка или продажа) и цена сделки. С целью упрощения число акций в заявках агентов данной модели будет равно единице.

Взаимодействие агентов будет происходить с помощью биржевого стека. Биржевой стек будет обрабатывать все заявки, совершать сделки, собирать статистику и рассчитывать среднюю цену актива на рынке (в самом начале средняя цена актива на рынка будет равна 10).

Итак, в стеке формируются две очереди из заявок – на продажу и на покупку. Каждая нереализованная заявка будет находиться в очереди 4 часа, а затем, при неудовлетворении в течение этого времени (если не нашлось заявки с равной или менее выгодной ценой) – она будет удаляться из стека.

В очередях заявки будут располагаться в порядке выгоды. Первые места в зависимости от цены сделки будут занимать:

- в очереди на покупку – самые дорогие;
- в очереди на продажу – самые дешёвые.

В зависимости от заявок в обеих очередях, стек либо совершает сделку, либо оставляет заявку в очереди. Агент не может формировать больше одной заявки и поэтому он либо ждёт совершения сделки, либо удаление своей заявки из стека, прежде чем сформировать новую.

После закрытия сделки стек будет заносить информацию о цене в специальный массив и каждые два часа вычислять среднее арифметическое значений из данного массива. Это среднее арифметическое будет заноситься и храниться в статистике. В результате запуска модели будет отображаться график изменений средней цены. Эти данные будут доступны агентам, и на их основе будет формироваться заявка.

У каждого агента будет один из трёх типов поведения – это функция для формирования всех трёх компонентов заявки:

1. Рациональный тип поведения – такие агенты стремятся к созданию баланса на рынке. Их основной целью будет стабилизация модельной торговли, а не получение прибыли (их поведение похоже на упоминавшихся выше гипотетических рациональных участников эффективного рынка). Эти агенты следят за тенденцией рынка и стараются действовать противоположно ей. Они смотрят на число заявок в двух очередях (на продажу и покупку) и выбирают направление своей заявки такое же, как и у очереди, число заявок в которой меньше. То есть, если очередь на покупку больше, то они выбирают направление своей заявки на продажу. И, наоборот, если очередь на продажу больше, то они выбирают направление своей заявки на покупку. Если обе очереди равны, то они выбирают любое из направлений с вероятностью 0.5. Цена их заявок зависит от текущей средней цены. Если выбранное этими агентами направление заявки – покупка, то цену своих заявок они ставят на 0.01 больше средней цены рынка, что позволяет снизить колебания средней цены и способствует скорейшему заключению сделки. А если, наоборот, выбранное направление заявки – продажа, то цену своих заявок они ставят на 0.01 меньше средней цены рынка с теми же целями. Если у этих агентов слишком маленький капитал или недостаточно ценных бумаг, то они не формируют заявок, а находятся в ожидании подходящих для себя условий на рынке (то есть когда с его количеством капитала и активов торговля в соответствии с их типом поведения становится возможной). Если очереди равны, то направление своей заявки они выбирают случайным образом с ценой, близкой к средней.
2. Иррациональный (шумовой) тип поведения – такое поведение можно охарактеризовать как подражательное. Из-за действий агентов с этим типом поведения на рынке происходит дисбаланс. Они наблюдают за тенденцией рынка и действуют согласно ей. Такие агенты следят за числом заявок в каждой очереди стека и формируют направление своей заявки согласно направлению той очереди стека, число заявок в которой больше (на продажу или на покупку). Если очереди равны, то они выбирают любое направление заявки с вероятностью 0.5. Если агент выбрал направление заявки – покупка, то цену заявки он делает на 0.01

больше, чем самая дорогая заявка в очереди – он стремится создать самую выгодную заявку, чтобы как можно скорее закрыть сделку. Если же он выбирает направление – продажа, то цену заявки он делает на 0.01 меньше, чем самая дешёвая заявка в очереди с той же самой целью. Если у него слишком маленький капитал или недостаточно ценных бумаг, то он не формирует заявок, а находится в ожидании подходящих для себя условий на рынке (то есть когда с его количеством капитала и активов торговля в соответствии с его типом поведения становится возможной). В таком же состоянии ожидания он находится, если его очереди равны нулю.

3. Рационально-шумовой тип поведения – поведение таких агентов характеризуется как подражательное, но с присутствием небольшой рациональности. Оно создаёт на рынке дисбаланс. Цель таких агентов состоит в увеличении своего состояния (то есть увеличении капитала и произведения средней цены на число их активов). Они следят за тенденцией на рынке и следуют ей, а также наблюдают за средней ценой. Направление своей заявки (продажа или покупка) они выбирают в зависимости от двух последних значений средней цены на рынке, если предпоследняя цена в массиве меньше, чем последняя, то они формируют заявку на покупку. Если, наоборот, предпоследняя цена больше, чем последняя, то, соответственно, - заявку на продажу. Если эти две средние цены равны, то они формируют любую из заявок с вероятностью 0.5. Если агент выбрал направление заявки – покупка, то цену заявки он делает на 0.01 больше, чем самая дорогая заявка в очереди – он стремится создать самую выгодную заявку, чтобы как можно скорее закрыть сделку. Если же он выбирает направление – продажа, то цену заявки он делает на 0.01 меньше, чем самая дешёвая заявка в очереди с той же самой целью. Если очереди равны нулю, то цена его заявки равна средней цене актива. Если у него слишком маленький капитал или недостаточно ценных бумаг, то он не формирует заявок, а находится в ожидании подходящих для себя условий на рынке (то есть когда с его количеством капитала и активов торговля в соответствии с его типом поведения становится возможной).

Главный управляющий параметр модели – это определение количества агентов каждого типа поведения.

В модели используются следующие названия:

1. массивы:

- `Asks` – очередь стека на покупку, под ним записано число заявок в фигурных скобках;
- `Bids` – очередь стека на продажу, под ним записано число заявок в фигурных скобках;
- `dayPrice` – множество цен по всем совершённым сделкам за период, под ним записано число этих сделок;
- `averagePrice` – множество всех средних цен за период, под ним записано число этих цен;

2. таймер `CalculateAveragePrice` – используется для подсчёта средней цены (его значение 2 часа, то есть в модели используется 2-х часовой период);

3. переменная `average_Price` – текущее значение средней цены;

4. параметр `initMarketPrice` – начальная цена актива (равна 10 единицам).

Когда время по таймеру заканчивается, сначала определяется среднее арифметическое всех чисел из `dayPrice`, потом все эти числа удаляются из этого массива, а получившееся среднее арифметическое сохраняется в `averagePrice` и это же значение принимает `average_Price`. Изменения средней цены отображаются на графике.

Были выполнены прогоны модели со следующими параметрами:

1. Участники рынка распределены следующим образом: 77% – рациональных агентов, 16% – иррациональных агентов и 7% – рационально-шумовых. На рис. 1 изображён ценовой график в течение модельного времени.

Наблюдается долгосрочное стабильное поведение рынка, то есть эта модель пригодна для моделирования долгосрочных процессов. Анализ результата моделирования при заданных параметрах показывает, что очереди быстро обнуляются и количество сделок (910) практически равно количеству агентов (1000). Таким образом, в модели происходит активная торговля, быстрое удовлетворение заявок. За 211 часов модельного времени совершилось около 90000 сделок, а средняя цена на 6-7% от-

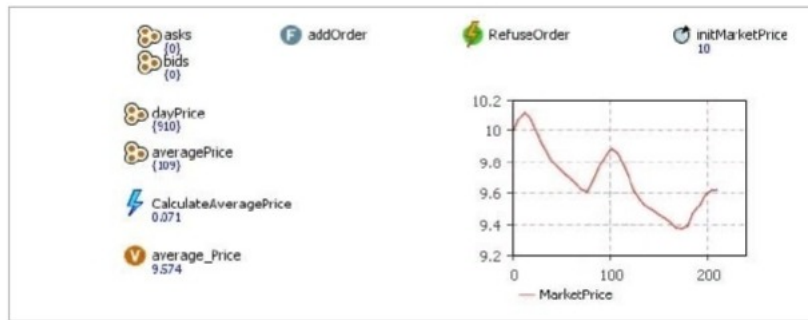


Рисунок 1 — Пример стека - стабильное поведение рынка

клонилась от начальной. Как можно заметить, колебание цены в начале создаётся иррациональными и рационально-шумовыми агентами, потом их ресурсы истощаются и рациональные агенты стабилизируют цену.

2. Ещё один прогон модели будет со следующим распределением участников: 72% – рациональные агенты, 18% – рационально-шумовые и, наконец, 10% – шумовые.

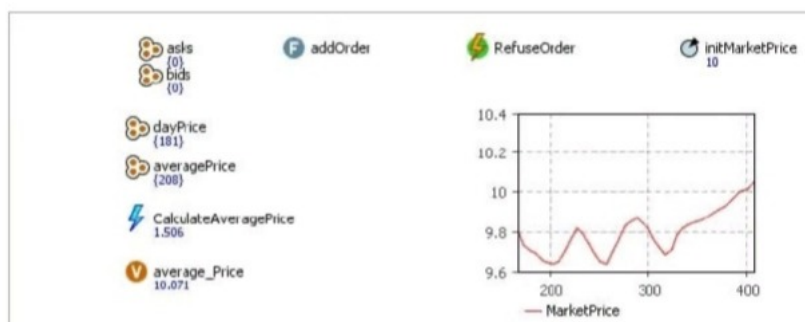


Рисунок 2 — Пример стека - стабильное поведение рынка

На рис. 2 можно наблюдать, что до времени, равного 310 часам, ситуация похожа на ситуацию в первом прогоне. В начале жизни модели действия рационально-шумовых и шумовых агентов вызвали колебания цены, но оно продолжалось до тех пор, пока их ресурсы не закончились. Тренд в этот момент был возрастающим.

Рациональные агенты продолжили торговлю с незначительным влиянием на среднюю цену (1%). За 4400 часов моделирования средняя цена актива практически стала равно 140 единицам, что показано на рис. 3. Шумовые и рационально-шумовые агенты остались без личных денег, но с большим числом активов. Они ждали возможности войти в тор-

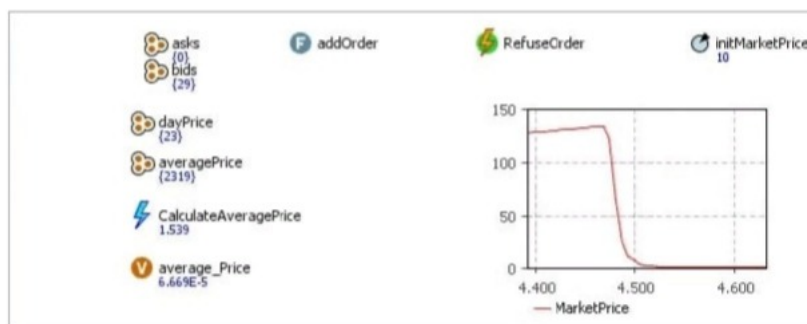


Рисунок 3 — Пример стека - экономический пузырь и крах рынка

говлю, и как только произошли нужные изменения на рынке, все 28% выходят на него с целью продать свои ценные бумаги, что в конечном итоге приводит к краху.

Таким образом, в этом прогоне в начале наблюдается стабильная работа рынка, затем происходит появление экономического пузыря, лопание которого приводит к краху.

3. Последний прогон модели происходит со следующими значениями количества агентов: 64% – рациональные агенты, 16% – рационально-шумовые и 20% – шумовые.



Рисунок 4 — Пример стека - нестабильное поведение и крах рынка

При таком раскладе модель доживает до 150 часов – рис. 4, но в итоге неизбежно наступает крах.

С таким большим количеством шумовых и рационально-шумовых агентов для поддержания стабильности не хватает сил рациональных агентов. Наблюдается краткосрочная нестабильная торговля, заканчивающаяся крахом.

Заключение. Цель работы и поставленные задачи были целиком выполнены:

1. Были рассмотрены основные понятия моделирования;
2. Были рассмотрены основные понятия и структура финансовых рынков;
3. Была рассмотрена теория шумовой торговли;
4. На основе исследованной теоретической информации была построена модель искусственного рынка, которая показала, что даже, не учитывая напрямую влияние внешних факторов, от стратегии поведения трейдеров на рынке зависит, будет ли рынок стабильным или на нём будут образовываться экономические пузыри, лопание которых приведёт к краху.

Таким образом, результат моделирования показывает, что при активной торговле с рациональными трейдерами рынок будет стабильным, а подражательное поведение, в конце концов, приведёт его к краху. Результаты работы можно использовать для дальнейшего исследования влияния различных параметров на работу фондовых рынков. Её можно усложнять, добавлять новые параметры и исследовать их совокупное влияние.