

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра теории функций и стохастического анализа

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ФОНДОВОГО РЫНКА НА ОСНОВЕ  
КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОДХОДА**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 452 группы

направления 38.03.05 — Бизнес-информатика

механико-математического факультета

Ким Романа Вячеславовича

Научный руководитель

доцент, к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_

В. В. Новиков

Заведующий кафедрой

д. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_

С. П. Сидоров

Саратов 2019

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В последние годы обширные исследования были посвящены изучению распределения доходности акций для ценообразования активов, управления рисками и распределения активов. Одной из важных моделей эволюции цен на акции является геометрическое броуновское движение, в которой предполагается, что логарифм цены на акции представляет собой броуновское движение со сносом, что, в свою очередь, приводит к нормальному распределению для прибыли от акций. Однако эмпирические данные показывают, что распределение доходности акций не подчиняется нормальному закону, в частности, имеет отрицательную асимметрию и положительный эксцесс. Это создает необходимость изучения методов анализа фондового рынка, в частности на основе квантово-механического подхода.

**Целью бакалаврской работы** является изучение и анализ фондового рынка.

**Объект исследования** — фондовый рынок.

**Предмет исследования** — метод анализа распределения биржевых прибылей, на основе модели квантового гармонического осциллятора.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие **задачи**:

- определить основные понятия, необходимые для анализа распределения биржевых прибылей;
- изучить необходимые сведения из теории случайных процессов;
- изучить необходимые сведения из квантовой механики;
- найти соответствие между фондовым рынком и квантово-механической системой;
- применить модель квантового-гармонического осциллятора для анализа;

**Практическая значимость** проводимого исследования состоит в том, что метод анализа распределения биржевых прибылей, на основе модели квантового гармонического осциллятора можно использовать для:

- прогнозирования колебания цен на акции;
- выяснения механизма, лежащего в основе процесса;

**Основная часть.** Основная часть данной работы состоит из 5 разделов, а именно:

1. Исторический обзор: некоторые подходы к применению физических моделей к анализу экономических процессов
2. Необходимые сведения из теории случайных процессов.
3. Необходимые сведения из квантовой механики.
4. Соответствие между фондовым рынком и квантово-механической системой.
5. Метод анализа распределения биржевых прибылей, на основе модели квантового гармонического осциллятора.

**Первый раздел** посвящен историческому обзору применения некоторых физических моделей к анализу экономических процессов. Наука о финансовых временных рядах долгое время развивалась в виде двух несвязанных направлений и лишь в последнее время наметилась некоторая тенденция к их сближению. Первое направление, которое можно назвать статистическим, берет свое начало от работы Луиса Башелье 1900 г., где автор, еще за пять лет до Эйнштейна, предложил первую модель броуновского движения (модель случайного блуждания) и применил ее для описания колебания цен акций на фондовой бирже.

Второе направление, которое естественно назвать динамическим, родилось и стало развиваться в среде практикующих трейдеров в начале 30-х гг. прошлого века. Этот подход получил название «технический анализ» (в отличие от фундаментального анализа, основанного на расчете «справедливой» цены акции в виде дисконтированной стоимости будущих доходов). Идеологической основой такого подхода стало известное положение Чарльза Доу (главного автора известного индекса), выдвинутое им еще в конце XIX в. Доу утверждал, что естественное состояние цены – это тренд (направленное движение вверх или вниз), который является результатом совместного действия толпы и отражает действующую на рынке социальную тенденцию. Поэтому тренд будет продолжаться до тех пор, пока на рынке не произойдет смена этой тенденции. Цель технического анализа – вскрыть внутренние закономерности временного ряда, на основе которых можно прогнозировать переходы из тренда во флэт (относительно стабильное состояние рынка) и

обратно.

В связи с вышесказанным возникают естественные вопросы: «По каким законам эволюционирует кластерная структура и какова причина образования больших кластеров?». Ответить на подобные вопросы и означает осуществить синтез двух указанных концепций. В последнее десятилетие серьезные результаты в этом направлении были получены в рамках эконофизики.

**Во втором разделе** приведены необходимые сведения из теории случайных процессов. Случайным процессом на вероятностном пространстве  $\Omega, \Theta, P$  называется семейство случайных величин  $\xi(t, \omega)$ , в зависящих от вещественного параметра  $t$ , принимающего значения из некоторого множества  $T$ . Это множество называется областью определения процесса. Сами случайные величины  $\xi(t, \omega)$  могут быть либо вещественными, либо комплексными, либо векторными. То пространство  $X$ , в котором  $\xi(t, \omega)$  принимает свои значения, называется фазовым пространством процесса. В зависимости от фазового пространства процесса говорят о числовых, комплекснозначных или векторных процессах. Как и при обозначении случайных величин для процессов аргумент  $\omega$  часто опускают и пишут  $\xi(t)$  вместо  $\xi(t, \omega)$ . Одной из основных характеристик случайного процесса являются его конечномерные (частные) распределения - набор функций, определенных для каждого натурального  $k$  соотношениями

$$F_{t_1, t_2, \dots, t_k}(A_1, A_2, \dots, A_k) = P\left(\bigcap_{i=1}^k (\xi(t_i, \omega) \in A_i)\right)$$

, где  $t_1, t_2, \dots, t_k \in T$ ;  $A_1, A_2, \dots, A_k$  - борелевские множества из области значений процесса.

Одномерное броуновское движение (винеровский процесс) — процесс  $\omega(t)$ , определенный при  $t \geq 0$ ; его конечномерные распределения определяются совместными плотностями распределения величин  $\omega(t_1), \omega(t_2), \dots, \omega(t_n)$  при  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ , которые имеют вид

$$f_{t_1, \dots, t_n}(x_1, \dots, x_n) = \prod_{j=i}^n [2\pi(t_j - t_{j-1})]^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x_j - x_{j-1})^2}{t_j - t_{j-1}}\right\}.$$

где  $t_0 = 0, x_0 = 0$ , а  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — вещественные переменные.

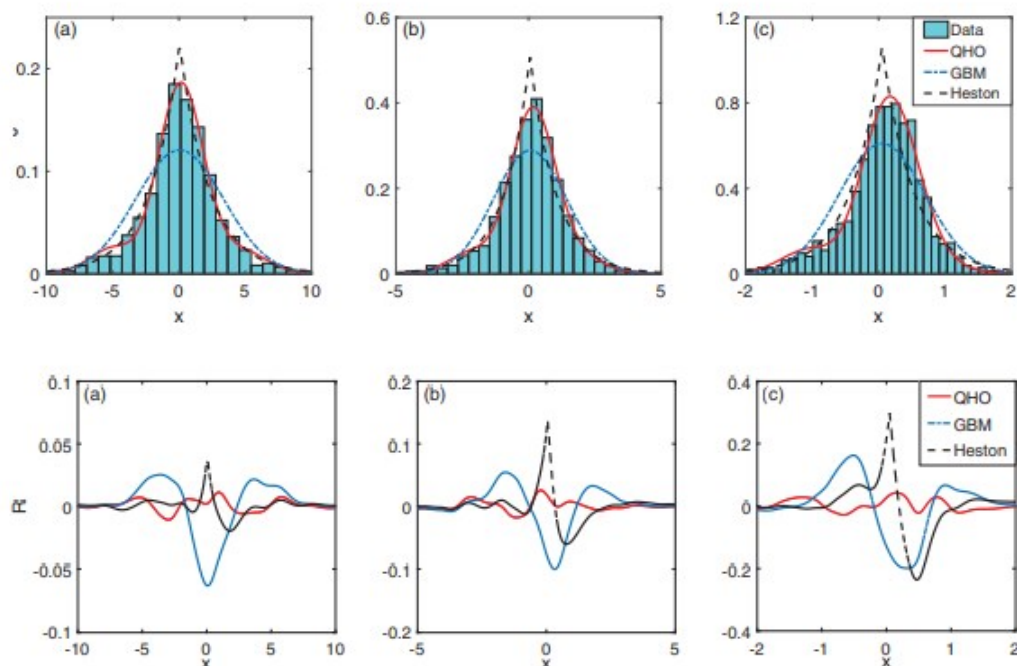
**В третьем** разделе изучаются необходимые сведения из квантовой механики. Уравнение Шрёдингера — линейное дифференциальное уравнение в частных производных, описывающее изменение в пространстве (в общем случае, в конфигурационном пространстве) и во времени чистого состояния, задаваемого волновой функцией, в гамильтоновых квантовых системах. Играет в квантовой механике такую же важную роль, как уравнения Гамильтона или уравнение второго закона Ньютона в классической механике или уравнения Максвелла для электромагнитных волн. Сформулировано Эрвином Шрёдингером в 1925 году, опубликовано в 1926 году. Уравнение Шрёдингера не выводится, а постулируется методом аналогии с классической оптикой, на основе обобщения экспериментальных данных.

Гармонический осциллятор в квантовой механике представляет собой квантовый аналог простого гармонического осциллятора, при этом рассматривают не силы, действующие на частицу, а гамильтониан, то есть полную энергию гармонического осциллятора, причём потенциальная энергия предполагается квадратично зависящей от координат. Учёт следующих слагаемых в разложении потенциальной энергии по координате ведёт к понятию ангармонического осциллятора.

**В четвертом разделе** ищем соответствия между фондовым рынком и квантово-механической системой. Процедура подбора состоит из двух этапов: во-первых, мы оцениваем параметры в  $p(x, t)$  путем минимизации функции ошибки, то есть статистики Крамера-Мизеса  $T_3$ . Во-вторых, мы оцениваем соответствие соответствия статистике Крамера  $T_0$ , чтобы проверить, насколько хорошо наблюдаемые данные соответствуют теоретической модели с оцененными параметрами. Мы получаем ежедневный индекс всех акций FTSE из базы данных Bloomberg, ограничивая временной интервал с 15 ноября 2007 года по 21 сентября 2014 года. Этот период представляет интерес, так как охватывает глобальный финансовый кризис, кризис суверенного долга Европы и период после периоды рецессии.

**В пятом,** заключительном разделе применяем полученную модель для анализа. Построим график. На рис. 1 уравнение Фоккера-Планка для функции плотности вероятности соответствует каждой модели вместе с эмпириче-

ским распределением, а на рис. 2 произведем подгонку каждой модели.



Они демонстрируют, что наша модель QHO приводит к наименьшим ошибкам подбора, таким образом визуально подтверждая, что наша модель обеспечивает более адекватное описание эмпирического распределения. В частности, GBM сильно преуменьшает и завышает плотность вероятности возврата около нуля и в умеренных положительных и отрицательных диапазонах соответственно; модель Хестона увеличивает плотность вероятности небольших положительных или отрицательных возвратов, и это увеличение становится хуже с увеличением периода удержания. В отличие от этого, ошибка подгонки модели QHO остается небольшой в любом диапазоне журнальных возвратов и мало зависит от периода хранения. Вместе со статистикой соответствия качества, показанной в таблице 3, мы заключаем, что подход QHO превосходит традиционные модели возврата акций.

| $\tau$ | GBM    | $p$ -value | Heston | $p$ -value | QHO   | $p$ -value |
|--------|--------|------------|--------|------------|-------|------------|
| 1      | 236.96 | 0.0000     | 43.35  | 0.0007     | 22.82 | 0.0633     |
| 5      | 138.05 | 0.0000     | 57.95  | 0.0004     | 15.63 | 0.3362     |
| 20     | 186.76 | 0.0000     | 148.79 | 0.0000     | 20.99 | 0.1090     |

Источниками такого хорошего соответствия являются: 1) включение рыночной неопределенности, которая была смоделирована исключительно

как случайное блуждание в традиционных моделях доходности акций, через свойства волновых функций. 2) учет рыночной силы, которая привлекает короткое время запуск колебания до долгосрочного равновесия через модель QHO.

### **Основные результаты**

1. Определены основные понятия, необходимые для анализа фондового рынка.
2. Изучены уравнение Шредингера и квантовый гармонический осциллятор.
3. Применен квантовый гармонический осциллятор для анализа динамики фондового рынка.