

# Новые методы анализа и прогноза на финансовых рынках

*Д.ф.-м.н., проф. А. Ю. Лоскутов*

Физический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова

## **Аннотация**

Главная задача курса — дать ответ на вопрос о предсказуемости явлений, встречающихся на финансовых рынках. На основе современной теории динамических систем можно показать, что при разумном подходе большинство на первый взгляд случайных явлений поддаются удовлетворительному прогнозу. При этом нетрудно выявить горизонт такого прогнозирования. Если прогноз все же невозможен, то всегда можно обосновать, когда и почему это так.

Изучение курса в рамках программы “Финансовый аналитик” позволяет слушателям получить представление о возможностях применения современного математического аппарата, такого как теория динамических систем, для анализа финансовых рынков. Математика последней четверти XX века дает множество возможностей (а также различных методов) для анализа и прогноза временных рядов (в том числе финансовых). Выбор адекватного (оптимального) метода, в зависимости от характеристик системы, является основной задачей исследователя.

Использование теории динамических систем для анализа финансовых данных позволяет реализовать следующие практические задачи:

- Определить природу рассматриваемого ряда финансовых данных: хаотическая (детерминированная) или стохастическая, (случайная) динамика.
- Выбрать оптимальные методы проведения анализа системы (статистические, динамические методы).
- Определить минимальное число динамических переменных, однозначно описывающих поведение исследуемой системы (другими словами,

определить число главных факторов на рынке или число основных действующих лиц на рынке).

- Выделять детерминированный сигнал в случайных (шумовых) компонентах.

- Определить оптимальное количество необходимых данных для проведения анализа.

- Определить моменты качественных изменений характеристик системы, т.е. провести сегментацию финансового ряда, определив моменты качественного изменения свойств системы (изменение основных параметров системы).

- Определить интервалы изменения финансовых показателей (уровни поддержки и сопротивления).

- Обнаружить заранее неизвестные и скрытые периодичности в финансовых рядах.

- Сделать оптимальный для исследуемой системы выбор метода проведения прогноза (например, путем глобальной или локальной аппроксимации).

- Определить горизонт прогноза, т.е. максимальный период обоснованного прогноза.

В курсе широко используются предшествующие материалы, наработанные автором, а также результаты, полученные в смежных областях в течение последних 20-и лет.

## 1 Описание курса. Рекомендуемая литература

Как известно, большинство систем (природных, таких, например, как атмосфера, или искусственных, таких, например, как биржа), в силу их сложности не могут быть описаны при помощи соответствующих моделей. Однако представление об их динамике можно получить посредством иного подхода, основанного на наблюдении за их поведением. *Наблюдаемая* (сигнал, реализация) — это функция от времени, по которой судят о процессе в исследуемой системе (или “наблюдают” за процессом). Таким образом, наблюдаемая — это некоторая последовательность значений переменной (или переменных) системы. Поэтому часто вместо термина наблюдаемая используется понятие *временной ряд*.

Например, для биржи в качестве наблюдаемой (или ременного ряда) может выступать ежедневный (ежечасный и т.п.) курс ценных бумаг. Если такую наблюдаемую определенным образом обработать, то при неко-

торых условиях возможно не только описать поведение системы в целом, но и с большой точностью произвести оценку будущего значения (или даже будущих значений) наблюдаемой переменной, причем эта оценка будет представлять собой функцию только от предыдущих значений ряда [1–3].

Следовательно, на основе одних лишь наблюдений за системой возможно предсказать ее поведение в будущем. Более того, при прогнозировании не делается различий между природой системы. При этом оказывается, что методы теории вероятности работают хуже, чем методы теории динамических систем и теории хаоса.

Таким образом, наиболее интригующим и заманчивым приложением теории динамических систем является прогнозирование динамики порождаемых ими временных рядов. При этом предполагается, что *a priori* характеристики систем, которые порождают этот ряд, неизвестны.

При каких условиях может быть динамически описаны временные ряды и успешно осуществлено их прогнозирование? Ответ на этот вопрос дают такие характеристики хаотичности как энтропия Колмогорова, показатели Ляпунова, размерность вложения. Например, в рамках современной теории размерности и теории динамических систем можно отличить случайный процесс от детерминированного поведения, установить конечность рассматриваемого явления и определить горизонт предсказуемости [1, 4, 5].

Для прогноза современная теория предлагает два успешно апробированных метода — *локальную аппроксимацию* и *сингулярный спектральный анализ*. Эти методы имеют строгое математическое обоснование. Главная идея, лежащая в их основе, состоит в разбиении рассматриваемых переменных на несколько локальных подобластей, построении аппроксимирующих моделей и оценке параметров этих моделей отдельно в каждой области.

Финансовый временной ряд — это последовательность, описывающая поведение определенного рыночного процесса, например, курс ценных бумаг. В ряде работ (см. [6, 7]) был проведен анализ некоторых финансовых рядов и показано, что многие из них имеют конечную емкость. Таким образом, эти ряды могут быть описаны системой небольшого числа переменных.

Вообще говоря, при некоторых условиях такой подход дает возможность прогнозировать динамику временного ряда (что подробно описано, например, в работе [8]), однако для этого сначала нужно восстановить уравнение. Оценки длины временного ряда, необходимой для такого восстановления показывают, что в большинстве случаев имеющихся данных недостаточно для определения правой части уравнения [9].

Для решения этой проблемы недавно предложено два интересных подхода. Первый подход связан с использованием данных из теории финансов. При этом получается, что длина временных рядов, необходимая для определения параметров, может быть на порядки меньше, чем для решения исходной задачи [10].

Другой подход использует особенности финансовых рядов: зачастую курс акций колеблется в ограниченном интервале между так называемыми уровнями поддержки и сопротивления, которые называются *гомодинамическими*, т.е. соответствующими практически неизменному закону движения [10, 11]. При этом короткие интервалы перехода на другие гомодинамические участки называются *разладкой*. Гомодинамические участки могут иметь разные инвариантные характеристики. Следовательно, прежде, чем описывать ряд в целом, необходимо осуществить его сегментацию, или решить *задачу разладки* [12].

Партнерские отношения иерархических систем обычно антагонистичны, т.е. каждый стремится некоторым образом управлять ситуацией и противопоставить оппоненту свое поведение, не позволяющее строить никаких прогнозов. Такое отношение обычно называют игрой, а наука, которая их изучает, — теорией игр. Под игрой, таким образом, понимается алгоритм принятия решений в условиях конфликта и неопределенности (относительно мотивов и ходов партнеров). Каждый из игроков стремится при заданных ограничениях максимизировать свою прибыль и/или минимизировать свои потери.

Сейчас стало ясно, что теория игр теснейшим образом переплетена с теорией динамических систем, фрактальных множеств и нелинейной динамикой, поскольку большинство реальных временных рядов имеют самоподобную структуру [13, 14]. Эта особенность позволяет переосмыслить подходы к анализу биржевых спекуляций и иным (и более успешным обра-

зом) подойти к их описанию [15]. При этом выявляются стратегии игроков с различными типами поведения, обосновывается невозможность использовать здравый (привычный) смысл в некоторых казалось бы очевидных ситуациях и т.п. Более того, если принять во внимание теорию управления хаотическими системами, то становится возможным на основе совершенно иных подходов, чем это принято в обычной теории, максимизировать прибыль [16].

Используя такой подход, можно объяснить некоторые тенденции в экономике и на биржах. Например, попав в какой-либо из кластеров, практически невозможно выйти из него быстро  $\Rightarrow$  **после спада не следует ожидать быстрого подъема**. *В азартных играх*: если капитал упал до нуля, то вероятность того, что он в течение короткого промежутка времени восстановится, практически нулевая.

Отсюда можно **строго обосновать** стратегии:

- жадного игрока (быстро получить прибыль);
- беспечного игрока (ставить почти все деньги);
- робкого игрока (играет “по маленькой”);
- опытного игрока (использует побочные сведения).

В случае действия **группы фирм на рынке**, можно обосновать:

- стратегию разорения конкурентов (может быть не очень выгодно);
- быструю стабилизацию прибыли варьированием инвестиций.

|| Такой подход возможен при *хаотическом развитии ситуации*.  
|| Поэтому необходимо знать основные положения **теории хаоса**.

Таким образом, теоретические исследования, основанные на анализе временных рядов, в том числе и финансовых, могут дать мощный инструмент для понимания многих явлений, особенно когда имеющихся данных может быть недостаточно.

Как известно, тщательный анализ и обработка информации могут приносить участникам фондового рынка весьма ощутимую прибыль. Однако сейчас все больше и становится очевидным, что анализировать надо не какую-то часть, а включать в рассмотрение как можно более широкую

информацию. Поэтому необходимо **мыслить о финансах и о вложении капитала** как об элементах целого, об одном сегменте совокупности знаний [17].

Одновременно с этим люди, выходящие на фондовый рынок, должны знать, что здесь *нет подарков, невозможно получать сверхприбыли, выполняя простые арифметические действия.*

|| **Успешные инвестиционные стратегии** возникают благодаря *обновленному мировоззрению*, основы которого должно закладывать самое современное образование.

Дело в том, что **самые гениальные стратегии быстро превращаются в тиражируемые стереотипы** и подвергаются примитивизации, в результате чего эффективность этих стратегий падает.

В условиях стремительного обесценивания стратегий *инвесторы, обладающие большим багажом разнообразных знаний, острее чувствует рынок*, быстрее воспринимают реакции рынка, правильнее осмысливают их и скорее разрабатывают новые стратегии.

Таким образом, необходима так называемая “практическая мудрость” и интуиция. Как этого достичь? Кратко — это последовательный процесс, который *слагается из изобретения ключевых концепций, заимствованных из многих сфер знаний.* Здесь применяется совокупность знаний. Она состоит в использовании следующих разделов современной науки.

**Физика** [1, 18, 19].

1. **Равновесие** между уровнями поддержки и сопротивления.  
Выход из равновесия и переход к другому состоянию равновесия.  
→ *Множество* сосуществующих положений равновесия или других равновесных состояний.
2. **Хаос** ⇒ странные аттракторы.
3. **Шумы** ⇒ стратегии отношений.

**Биология** [20, 21].

1. **Отсутствие глобального управления.**
2. **Адаптация** ⇒ стратегия, продукты, услуги подвергаются постоянному пересмотру на основании накопленного опыта.

3. **Эволюция**  $\Rightarrow$  изменчивость.

4. **Экономический отбор** [22]

Математика [1, 23].

1. **Теория вероятности**  $\Rightarrow$  случайное блуждание, полеты Леви, корреляции.

2. **Теория динамических систем**  $\Rightarrow$  размерность вложения, локальная аппроксимация, фрактальность.

3. **Теория бифуркаций**  $\Rightarrow$  качественная смена режимов движения, перестройки странных аттракторов.

Психология [24–26].

1. Механизм работы человеческого сознания  $\rightarrow$  можно понимать такое явление, как *интуицию*.

2. *Финансовое поведение* — основа принятия решений.

3. Взаимосвязь психологии и инвестирования.

Инвесторам свойственно чересчур сильно реагировать на дурные новости, особенно если они приходят регулярно. В то же время инвесторы слишком сдержанно реагируют на хорошие новости. В психологии это называется **предрасположенность к чрезмерной реакции**.

4. **Чрезмерная уверенность**: ошибочность предположения, что в какой-то области люди более квалифицированы, чем на самом деле. При этом такие утверждения как правило бездоказательны. Это прямой путь к катастрофе.

Теория информации [27].

1. **Энтропия**  $\Rightarrow$  предел предсказуемости наблюдаемого процесса.

2. **Информация**  $\Rightarrow$  *кто владеет информацией, тот владеет всем*.

Все эти дисциплины в преломлении к сложному поведению объединяет так называемая **"теория сложных систем"** (complex systems) [1, 28].

## Содержание курса

### **1. Хаос и временные ряды**

#### 1.1 Анализ временных рядов

### **2. Динамика распределенных систем**

#### 2.1 Бесконечномерное и конечномерное описание

#### 2.2 Дискретное представление

### **3. Методы обработки временных рядов**

#### 3.1 Статистические методы обработки временных рядов

#### 3.2 Динамические методы обработки временных рядов

### **4. Размерность вложения**

#### 4.1 Функциональный метод определения размерности вложения

#### 4.2 Метод Грассбергера-Прокаччиа

### **5. Информация и энтропия динамических систем**

#### 5.1 Разделение шума и детерминированного сигнала

#### 5.2 Оценка энтропии

### **6. Оценка длины ряда**

#### 6.1 Оценка из свойств корреляционного интеграла

### **7. Основные методы прогноза нерегулярных временных рядов**

#### 7.1 Сингулярный спектральный анализ (SSA)

#### 7.2 Локальная аппроксимация (LA)

### **8. Прогноз методом SSA**

### **9. Прогноз методом LA**

#### 9.1 Построение прогноза на один шаг вперед

#### 9.2 Прогноз на несколько шагов

#### 9.3 Порядок аппроксимации

### **10. Малые возмущения и управление хаосом**

#### 10.1 Подавление хаоса

#### 10.2 Управление с обратной связью

### **11. Стратегии конкурентных отношений**

#### 11.1 Шумы

#### 11.2 Разорение игрока

#### 11.3 Стратегия при неблагоприятных шансах на выигрыш

### **12. Экономические приложения**

#### 12.1 Разладка

#### 12.2 Фрактальные свойства и модели рядов



### 13. Явление гомодинамичности

#### 13.1 Линейные гомодинамические модели

### 14. Прогноз реальных экономических индексов

## Список литературы

- [1] А.Ю.Лоскутов, А.С.Михайлов. *Основы теории сложных систем.*— Москва, Регулярная и хаотич. динамика, 2007.
- [2] В.С.Афраймович, А.М.Рейман. Размерность и энтропия в многомерных системах.— В сб. *Нелинейные волны. Динамика и эволюция.* Ред. А.В.Гапонов-Грехов, И.М.Рабинович.— М., Наука, 1989, с.238–262.
- [3] А.Ю.Лоскутов, О.Л.Котляров, И.А.Истомин, Д.И.Журавлев. Проблемы нелинейной динамики. III. Локальные методы прогнозирования временных рядов.— *Вестн. Моск. ун-та, сер. Физ.-астр.*, 2002, №6, с.3–21.
- [4] А.Ю.Лоскутов. Очарование хаоса.— *Успехи физ. наук*, 2010, т.180, № 12, с.1305–1329.
- [5] Г.Шустер. *Детерминированный хаос. Введение.*— М., Мир, 1988.
- [6] Э.Петерс. *Хаос и порядок на рынках капитала.*— М., Мир, 2000.
- [7] E.Peters. *Financial Market Analysis.*— John Wiley and Sons, New York, 1994.
- [8] А.Ю.Лоскутов, О.Л.Котляров. Локальная аппроксимация — новый метод прогнозирования экономических показателей.— *Валютный спекулянт*, 2008, №10.
- [9] Г.Г.Малинецкий, А.Б.Потапов. *Современные проблемы нелинейной динамики.*— м.: УРСС, 2000.
- [10] А.А.Бредихин, А.Ю.Лоскутов. Гомодинамичность финансовых временных рядов.— В сб. *Эконофизика. Современная физика в поисках экономической теории.* Ред. В.В.Харитонов, А.А.Ежов.— МИФИ, Москва, 2007, с.307–315.
- [11] А.А.Бредихин, А.Ю.Лоскутов, А.Б.Седых. К проблеме описания финансовых временных рядов. I. Линейные гомодинамические модели.— *Вестн. Моск. ун-та, сер. Физ.-астр.*, 2001, №1, с.10–12.
- [12] А.Н.Ширяев. *Статистический последовательный анализ.*— М.: Наука, 1976.
- [13] Б.Мандельброт. *Фракталы, случай и финансы.*— М., РХД, 2004.
- [14] М.Розарио, Е.Стенли. *Введение в эконофизику. Корреляции и сложность в финансах.*— М., УРСС, 2009.

- [15] А.Ю.Лоскутов, А.А.Бредихин. К проблеме описания финансовых временных рядов. III. ARCH–модели на финансовом рынке России.— *Обзорные прикл. и промыш. математики*, 2004, т.11, вып.3, с.468–486.
- [16] А.Ю.Лоскутов. Нелинейная оптимизация хаотической динамики рынка.— *Экономика и математические методы*, 2010, т.46, No 3, с. 58–70.
- [17] Р.Дж.Хэгстром. *Инвестирование. Последнее свободное искусство*.— М.: Олимп–Бизнес, 2005.
- [18] *Эконофизика. Современная физика в поисках экономической теории*. Ред. В.В.Харитонов, А.А.Ежов.— МИФИ, Москва, 2007.
- [19] P.Krugman. *The Self-Organizing Economy*.— Malden, Blackwell, 1996.
- [20] P.Ormerod. *Butterfly Economics*.— New York, Pantheon Books, 1998.
- [21] M.Rothschild. *Bionomics: Economy as Ecosystem*.— New York, Henry Holt, 1990.
- [22] С.Коттл, Р.Ф.Мюррей, Ф.Е.Блок. *Анализ ценных бумаг Грэма и Додда*.— М., Олимп–Бизнес, 2000.
- [23] А.Н.Ширяев. *Основы стохастической финансовой математики*.— М., Фазис, 1998.
- [24] Л.Твид. *Психология финансов*.— М., ИК Аналитика, 2002.
- [25] R.B.Cialdini. *Influence: The Psychology of Persuasion*.— New York, William Morrow, 1993.
- [26] Ch.P.Kindleberger. *Manias, Panics, and Crashes*.— New York, John Wiley and Sons, 1996.
- [27] Г. Хакен. *Информация и самоорганизация*.— М., URSS, 2005.
- [28] *The Economy as an Evolving Complex System.* / Eds. B.W.Arthur, S.N.Durlauf, D.A.R.Lane.— Addison–Wesley, 1997.