

# Рефлексивность как атрибут системной сложности финансового рынка

М. Ю. Куцкий

**Аннотация.** В работе предложен методологический подход к использованию атрибутов системной сложности для анализа и прогнозирования динамики цены на финансовых рынках. В качестве количественной меры одного из существенных системных атрибутов сложности финансового рынка (рефлексивности) аргументировано был предложен показатель текущей волатильности.

**Ключевые слова:** *финансовый рынок, социально-экономическая система, атрибут системной сложности, рефлексивность, текущая волатильность.*

## Введение

Финансовые рынки сейчас переживают период бурного развития. Однако мировая теория и практика в области анализа и прогнозирования поведения этих институтов до настоящего времени не выработала однозначных подходов к определению существенных характеристик финансового рынка.

Непредсказуемость поведения финансовых рынков, неожиданные скачки цен, непонятные изменения в тенденциях трендов и финансово-экономические кризисы — вот далеко не полный перечень проблем, которые не нашли своего адекватного объяснения в рамках неоклассической экономической теории (эти проблемы затрагиваются, в том числе, и в [1–5]).

По мнению академика РАН В. М. Полтеровича, современная экономическая наука переживает кризис [6]: большинство существующих методологических подходов не состоятельны при анализе таких сложных динамических социально-экономических систем, какими, в том числе, являются финансовые рынки.

Эти выводы можно аргументировать следующим образом [7, с. 15]:

- большое количество общих научных результатов в теоретической экономике не подтверждается практикой, что является свидетельством неполноты или противоречивости начальных входных положений и базовых моделей;

- большинство конкретных результатов оказалось неустойчивыми к обоснованным вариациям начальных гипотез;
- достаточно часто найденные эмпирические закономерности не подтверждаются, а, наоборот, опровергаются дальнейшими исследованиями.

Концептуальные основы современной экономической науки и математический аппарат, который она использует, окончательно сформировались в первой половине XX века. Однако глобализация финансовых рынков, усиление интеграции национальных экономик, ускорение технического прогресса, сокращение жизненного цикла товаров и технологий, рефлексивные процессы в экономике — все это приводит к необходимости переосмысления существующего научного финансово-экономического наследия и разработке новых методологических парадигм, соответствующих требованиям достижения современной науки и практики.

Существующие методы исследования социально-экономических систем, к которым относится финансовый рынок, не позволяют в полной мере адекватно анализировать присущие им свойства. Разработка методологических подходов, которые дают адекватную качественную и количественную характеристику механизмов функционирования финансового рынка с целью анализа и прогнозирования динамики цены на нем, а также выбор эффективного и адекватного аналитического инструментария для достижения поставленной цели относится к числу наиболее актуальных задач в исследовании таких систем.

## 1. Финансовый рынок как сложная социально-экономическая система

Финансовый рынок можно охарактеризовать как сложную социально-экономическую систему.

**Определение 1.** Социально-экономическая система (СЭС) — это конечное множество элементов (субъектов и объектов системы) и отношений между ними, выделенное из среды в соответствии с определенной целью (или нескольких целей) в рамках определенного интервала времени, который называется жизненным циклом системы.

В предложенном определении СЭС (в рамках проводимого исследования) существенными являются следующие положения:

- Среди элементов и внешней среды такой системы — и это существенно отличает СЭС от иных систем — всегда присутствуют субъекты: мыслящие элементы или лица, принимающие решения (ЛПР — менеджмент, инвесторы, государственные регуляторы, контрагенты и проч.). При этом ЛПР, являясь элементом системы (или же элементом внешней по отношению к СЭС среды), оказывает воздействие на саму систему и тем самым изменяет ее (так называемые рефлексивные процессы между ЛПР и системой, которые будут далее разобраны подробнее), что делает СЭС динамичными и достаточно сложными для исследования. Кроме того, не всегда цели ЛПР и СЭС совпадают. Это может привести к конфликту интересов, что, в свою очередь, усложняет систему, т. е. увеличивает перечень проблем, которые следует учитывать при построении адекватной модели исследуемой СЭС. Итак, рефлексивность является неотъемлемым атрибутом финансового рынка как сложной системы. При чем рефлексивность как атрибут системы также отражает итерационность мышления субъектов СЭС.
- Среди отношений, как внутри системы, так и системы с окружающей средой, важное место занимают отношения между ЛПР, которые не всегда возможно однозначно выразить аналитически, поскольку эти отношения строятся под воздействием таких характеристик ЛПР, как психология, ментальность, эрудиция, коммерческая хватка, адекватность реакции ЛПР на изменения в окружающей среде и проч. Это также повышает сложность финансового рынка как системы.
- Также следует учитывать влияние на СЭС макро- и микроэкономических векторов развития (как в самой системе, так и в окружающей ее среде) и ее адаптацию к ним, что не всегда можно адек-

ватно формализовать. Следовательно, адаптация финансового рынка к изменению экзо- и эндогенных воздействий также является атрибутом системной сложности такой СЭС.

- Неотъемлемым атрибутом системы является цель (цели) ее развития. СЭС нередко присущи изменения цели развития в связи с изменениями в окружающей среде и изменениями в целях ЛПР, которые также с течением времени зачастую изменяются. Со сменой цели меняется и сама система: СЭС с новой целью — это уже другая система (в соответствии с данным выше определением). Это приводит к тому, что время от времени системные цели финансового рынка изменяются. В этом случае модель, которая ранее (до изменения системных целей) адекватно отражала поведение системы, подлежит корректировке или даже замене на иную модель. При этом цель (функции) элементов системы не всегда совпадают с целями (функциями) самой системы, что приводит к повышению волатильности системы. Отсюда следует, что экономические системы необходимо исследовать в целом и комплексно.

Автором было проведено исследование по изменению оптимальной величины управляющего параметра модели, которая использовалась для прогнозирования динамики цены на финансовом рынке, на примере порядка простой скользящей средней. Оказалось, что для 282 анализируемых котировок EUR/USD рынка FOREX с периодичностью поступления информации с рынка каждые 5 минут эффективный порядок простой скользящей средней менялся 12 раз. Он принимал значения 5, 8, 13 и 24 (под эффективным порядком простой скользящей средней условимся понимать такую величину, при которой запаздывание сигнала на начало торговой операции — минимально). Это свидетельствует о том, что примерно за сутки анализируемый рынок (как система) претерпевал изменения 12 раз. То есть за сутки 12 раз изменялись характеристики системы, анализируемые с помощью простой скользящей средней. И, следовательно, 12 раз изменялся уровень системной сложности рынка. А как следствие, нужно было в модели 12 раз изменять значение такого параметра, как порядок простой скользящей средней.

- Со сменой цели определяется период времени или жизненный цикл, в течение которого система эволюционировала. Следовательно, жизненный цикл СЭС ограничен во времени, и корректный анализ, равно как и построение адекватной модели СЭС, невозможны без учета продолжительности этого периода времени. Жизненный цикл системы также является ее неотъемлемым системным атрибутом.

- Указанная выше динамичность СЭС проявляется в дрейфе характеристик системы, в изменении значений ее параметров, в эволюции сложной системы во времени в сторону целей СЭС. Чем сложнее система, тем более рельефно проявляется эта ее черта, что создает дополнительные сложности при построении адекватной модели для исследуемой СЭС.
- Из динамичности вытекает волатильность (иногда весьма существенная) количественных характеристик СЭС, обусловленная не столько наличием каких-то специальных генераторов случайных помех, сколько сложностью самой системы и вытекающим из нее неизбежным обилием всякого рода второстепенных (с точки зрения целей исследования) процессов. Поэтому поведение системы зачастую обусловлено не столько детерминированными процессами, сколько случайными процессами, протекающими в сложной системе и порождающими волатильность поведения ее количественных характеристик. Любая СЭС имеет множество такого рода случайных воздействий, которые также являются свидетельством ее сложности.

Достаточно вспомнить стремительное увеличение (в среднем, по подсчетам аналитиков — более чем на 5 %) значений всех индексов и котировок российских акций, продолжавшееся несколько дней начиная с 3 сентября 2014 года, когда на рынок поступило сообщение о предстоящих возможных переговорах между президентами России и Украины по прекращению боевых действий на Донбассе. И это притом, что все макроэкономические показатели в России на тот период должны были уменьшаться из-за санкций ЕС и США, проблем с туроператорами, существенных финансовых проблем в Крыму и других проблем российского бюджета. То есть одна новость может существенно повлиять на изменения в инвестиционных предпочтениях участников рынка.

- Коммуникативность — существование сложной системы коммуникаций с внешней средой в виде иерархии. Отсюда — сложное взаимодействие и взаимозависимость системы и внешней среды.
- Мультипликативность — положительные и отрицательные эффекты функционирования элементов системы, а также случайные и детерминированные факторы, которые влияют на развитие системы, имеют свойство умножения, а не сложения. Отсюда — принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее компонент.
- Присутствие неопределенности в развитии экономических процессов. Неопределенность — ситуация, когда полностью или частично отсутствует информация о возможных состояниях сис-

темы и внешней среды. Иначе говоря, когда в системе возможны те или другие непредвиденные события (вероятностные характеристики не существуют или неизвестны). Это неминуемый спутник сложных систем: чем сложнее система, тем чаще всего большего значения приобретает фактор неопределенности в ее развитии. Хаос возникает в системах, когда для двух очень близких начальных значений система ведет себя совсем по-разному. Чувствительность хаотичных процессов к стартовым условиям и к окружающей среде приводит к невозможности детального прогнозирования их развития в отдаленном будущем. Незначительное изменение параметров системы переводит текущее состояние в одно из многих возможных новых состояний системы, что приводит к трудностям адекватного прогноза дальнейшего развития подобных систем. Хаотичность экономических систем не означает, что полностью отсутствуют законы развития такой системы, но, несмотря на детерминированность экономических систем, на динамику ее развития влияет большое количество случайных факторов. При этом влияние на систему случайных и детерминированных факторов не всегда можно отделить (см. мультипликативность системы), что делает проведение исследований таких систем трудоемким занятием. Чем менее детерминирована СЭС, тем более она сложна и тем больше вероятность появления точек бифуркации в траектории развития такой системы.

- Динамично детерминированный характер развития СЭС, который допускает оптимизацию траектории их развития во времени под влиянием внутренних и внешних факторов. При этом текущее состояние СЭС зависит от предыдущего ее состояния. Это говорит о детерминированности такой системы, что позволяет проводить ретроспективный анализ процессов, которые протекают в такой системе (причина детерминированности финансового рынка — фрактальность его структуры, о которой пойдет речь далее). Отсюда — адаптивность — стремление к состоянию устойчивого равновесия, что делает возможным адаптацию параметров системы к параметрам внешней среды, которые изменяются.
- К особенностям СЭС следует также добавить динамическую неуравновешенность таких систем, которая связана с постоянным воздействием на СЭС факторов различной природы, что опять же увеличивает системную сложность.
- К атрибутам финансового рынка как сложной СЭС также следует отнести информацию. При чем наиболее важной из характеристик рыночной информации в рамках текущего исследования следует считать ее однородность: чем более

однородна поступающая на рынок информация, тем проще система для анализа и прогнозирования ее поведения. Повышение неоднородности и даже противоречивости рыночной информации увеличивает системную сложность финансового рынка.

Перечень особенностей СЭС, увеличивающих ее сложность, можно было бы продолжить. Однако в любом случае следует помнить, что в работе отмечены лишь атрибуты, свойственные сложной системе, но ни в коей мере не ее формальные признаки.

Следовательно, СЭС, к которым относится и финансовый рынок, следует отнести к сложным системам.

Термин «сложная система (complex system)», вообще говоря, не имеет строгого определения. Поэтому, в рамках текущего исследования, условимся понимать следующее: системная сложность финансового рынка определяется нелинейностью динамики его развития. Эта динамическая нелинейность способствует повышению трудностей при выборе формализующего корректного математического описания, которое позволило бы построить достаточно адекватную модель исследуемой СЭС или отдельного процесса, проходящего в ней.

Объектом исследования в рамках парадигмы сложности выберем динамику цены на финансовом рынке.

Динамика цены как вектор отражает влияние всех рыночных процессов, подобно равнодействующей всех сил в механике. Это, с методологической точки зрения, позволяет существенно уменьшить количество проблем, связанных с системной сложностью, при моделировании процессов, проходящих на финансовом рынке.

## 2. Концептуальный подход к использованию системной сложности в модельном прогнозировании динамики цены на финансовых рынках

Если изменение динамики цены на рынке является нелинейным, как это показано в [8], у будущей динамики цены существует много возможных продолжений (высокая зависимость развития системы от малых изменений начальных условий развития и, как следствие, — бифуркации). Следовательно, долгосрочное прогнозирование динамики цены не имеет единственного решения. Попытки найти единое оптимальное решение могут оказаться напрасными.

Дело в том, что финансовый рынок — сложная нелинейная система с обратной связью [9]. Однако те ограничения, которые накладываются в процессе построения моделей рыночных процессов, приво-

дят, в конце концов, к относительно простым и идентифицируемым моделям, в то время как исходная «сложность» системы и связанная с ней специфика теряются.

Процессы ценообразования, которые происходят на финансовых рынках, определяются параметрами, которые можно условно разделить на две категории [10]:

- параметры детерминированные, которые отображают фундаментальные процессы в экономике и влияние которых осуществляется в долгосрочном периоде;
- параметры стохастические, которые чаще всего отображают «текущие настроения» на рынке и влияние которых является кратковременным.

При этом общий подход к тому, как функционирует такая СЭС, можно в общем виде выразить следующей формулой:

$$Y_t - Y_{t-1} = F(Y_{t-1} - Y_{t-2}) \cdot \varepsilon(t), \quad (1)$$

где  $Y_t - Y_{t-1}$  — текущее изменение состояния системы;  $Y_{t-1} - Y_{t-2}$  — предыдущее изменение состояния системы;  $F$  — оператор, определяющий зависимость прироста текущего изменения состояния системы от прироста предыдущего изменения состояния (детерминированная часть);  $\varepsilon(t)$  — текущий случайный шум (рефлексивное влияние текущих инвестиционных предпочтений ЛПР на рынок и других случайных факторов — стохастическая часть).

При этом следует учитывать, что динамичность, а также ограниченность длины жизненного цикла СЭС зачастую приводит либо к необходимости уточнять величины управляющих параметров построенной модели (как это было показано выше на примере скользящих средних), либо к полной ревизии построенной модели с возможной ее заменой на более адекватную.

Сложность системы, ввиду неоднозначности толкования этого термина, практически невозможно измерить количественно, хотя уменьшение уровня сложности СЭС, как правило, приводит к облегчению процесса прогнозирования поведения системы. Однако существуют некоторые атрибуты системной сложности финансовых рынков, которые возможно количественно измерить, такие как рефлексивность, энтропия (в различных измерениях этого термина), продолжительность жизненного цикла системы и т. д.

Следовательно, можно измерять уровень сложности СЭС при помощи ее атрибутов, адекватный математический аппарат для которых уже разработан. Такие «количественные меры сложности», как правило, реагируют на критические изменения в динамике системы, что позволяет использовать их в процессе диагностики и прогноза будущих изменений в системе. Подобные проблемы успешно реша-

лись в [11–14], но отсутствие однозначной трактовки того, какой именно атрибут сложности предлагаемые в этих работах меры измеряют, несколько снижают ценность описанных в упомянутых работах количественных мер сложности.

Представляется важным решение следующей проблемы: как можно адекватно исследовать и прогнозировать динамику цены на финансовых рынках, и на каких методологических основаниях это нужно делать?

Определимся в некоторых допущениях в рамках предлагаемого исследования.

**Допущение 1.** Процессы на финансовых рынках являются детерминированными (может быть, слабо детерминированными, но однозначно не чисто стохастическими).

Это допущение с методологической точки зрения позволяет использовать логические построения при проведении анализа рыночных процессов и выявлении существующих причинно-следственных связей. Также появляется возможность на основании корректных критериев определить, какой инструментарий адекватен при исследовании и прогнозировании рыночных процессов.

**Допущение 2.** Интегральным количественным отражением процессов, проходящих на финансовых рынках, является цена анализируемого рыночного актива.

Методологическое обоснование этого допущения уже обсуждалось выше.

**Допущение 3.** Системная сложность финансового рынка может быть количественно измерена. При этом количество существенных атрибутов системной сложности (в рамках конкретного исследования) финансового рынка конечно и невелико.

Это допущение предполагает, что в рамках конкретного исследования есть возможность поиска небольшого количества существенных атрибутов системной сложности (САСС) финансового рынка, для которых разработан адекватный математический инструментарий и существует аргументированный алгоритм применения этого инструментария. Некоторые из этих атрибутов можно количественно измерить с адекватной трактовкой изменения величины конкретного атрибута по шаблону: что конкретно характеризует увеличение (уменьшение) величины атрибута по отношению к сложности анализируемой системы (она увеличивается или уменьшается). Наличие такой трактовки существенно для понимания результатов измерения.

**Допущение 4.** Среди САСС финансового рынка присутствует фрактальная структура рынка и рефлексивность рынка.

Это допущение подробнее рассмотрено далее.

Таким образом, с помощью набора САСС, которые количественно измеримы, можно оценивать уровень сложности анализируемой системы.

С повышением уровня сложности системы снижается уровень предсказуемости ее дальнейшего поведения, что может затруднить процесс построения адекватной модели. И, наоборот, со снижением уровня сложности системы повышается уровень предсказуемости ее дальнейшего поведения.

Для построения концептуального подхода к исследованиям динамики цены на финансовых рынках с учетом их системной сложности предлагается ряд гипотез.

**Гипотеза 1.** Финансовый рынок имеет фрактальную структуру. При этом фрактальная структура финансового рынка является САСС любого финансового рынка.

Фрактальность финансовых рынков не является *terra incognita* для современной науки. Фрактальная структура финансового рынка формируется из инвестиционно-временных горизонтов, которые и являются временными фракталами на финансовых рынках [15].

**Определение 2.** Инвестиционно-временной горизонт (ИВГ) — это часть финансового рынка, где торгуется определенная группа ЛПР, объединенная общностью инвестиционных предпочтений и анализирующая динамику цены, представляемую четырехмерным вектор-рядом

$$\vec{P}(t) = (Open(t), High(t), Low(t), Close(t)),$$

который характеризуется периодичностью предоставления информации о цене пользователю с интервалом времени  $\Delta t$ , называемым глубиной горизонта.

На рынке одновременно действуют участники рынка с различными инвестиционными стратегиями, которые отражают интересы участников рынка в разных глубинах горизонта. Каждый участник рынка, работая внутри избранного временного интервала, принимает участие в формировании ИВГ, в котором работает часть участников рынка, принимающих участие в рыночном процессе [16, с. 40–42].

**Определение 3.** Фрактальная структура финансового рынка — это вся совокупность инвестиционно-временных горизонтов, одновременно присутствующих на рынке.

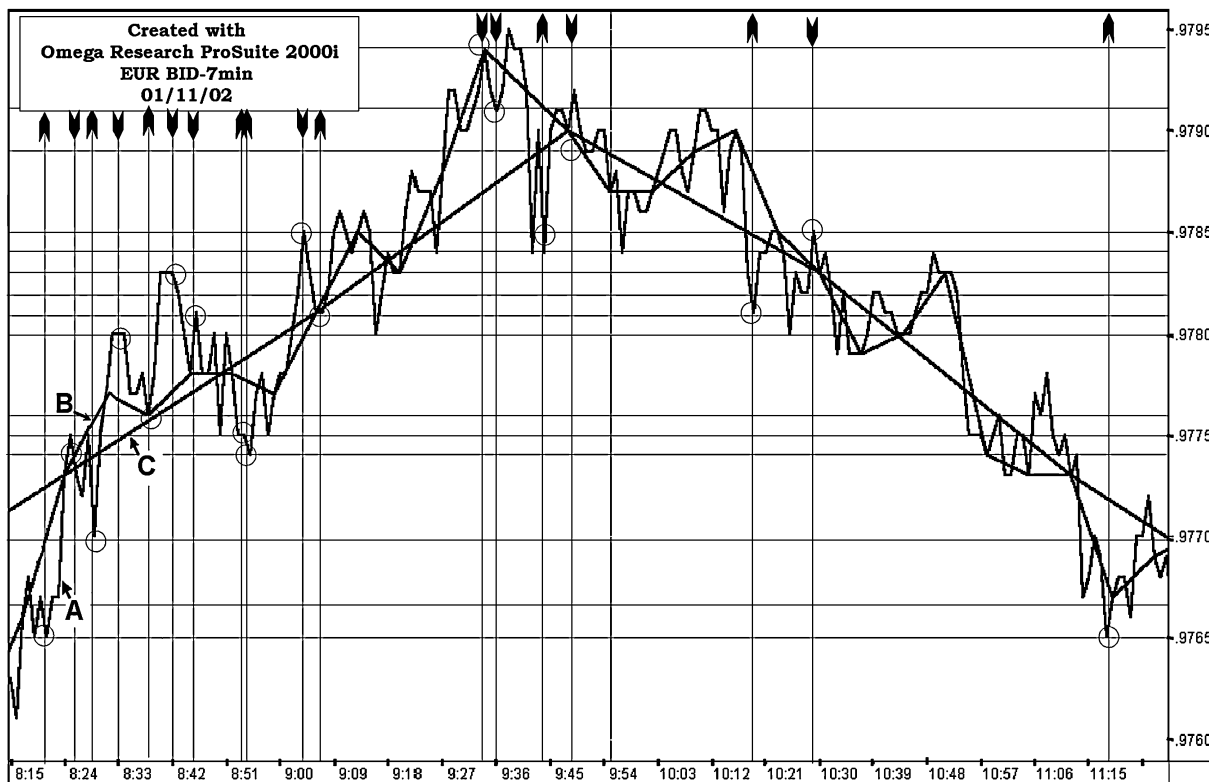


Рис. 1. Иллюстрация фрактальной структуры финансового рынка

Финансовый рынок является нелинейной системой, но в тот же время самоподобной, т. е. фрактальной, системой. Поэтому можно считать, что существование и ликвидность этого рынка определяется фрактальностью его структуры в соответствии с Гипотезой фрактального рынка (Fractal Market Hypothesis), которая является адекватной альтернативой Гипотезе эффективного рынка (Efficient Market Hypothesis) [15, 16]. В качестве объектов фрактальной природы на рынке выступают ИВГ.

Самоподобие этих объектов (их фрактальность) объясняется тем, что каждый ИВГ — это лишь «отдельный слепок» рынка, и линейаризация динамики цены на конкретном ИВГ осуществляется с дискретностью, которая определяет глубину горизонта ИВГ. При этом на ИВГ с разными глубинами горизонта динамика цены различна. Но исходная информация для привязки динамики цены к глубине горизонта ИВГ — общая для всех ИВГ: текущие котировки, которые поступают на рынок от всех участников торгов на рынке, не зависят от того, на ИВГ какой глубины работает тот или иной экономический агент.

В качестве иллюстрации адекватности фрактальной структуры рынка рассмотрим рис. 1.

Представленные на рис. 1 графики представляют линейаризованную динамику изменения цены на ИВГ различной глубины.

Первый график (ИВГ более мелкой глубины горизонта — 1 минута: на рисунке обозначен А); второй график (ИВГ средней глубины горизонта — 7 минут: на рисунке обозначен В); третий график (ИВГ более крупной глубины горизонта — 42 минуты: на рисунке обозначен С). На рис. 1 для повышения наглядности представлены цены лишь для трех ИВГ. В реальности — количество ИВГ, составляющих фрактальную структуру финансового рынка, измеряется десятками, сотнями или тысячами (в зависимости от уровня ликвидности конкретного рынка).

Наличие фрактальной структуры финансового рынка имеет не только гносеологическую, но и практическую ценность: цена реального соглашения на рынке — результат взаимодействия участников рынка, которые работают на ИВГ с различной глубиной горизонта. При этом, как правило, тренды в таких ИВГ противоположно направлены и пересекаются в точке, которая и является ценой реального соглашения (см. рис. 1).

Использование предлагаемой гипотезы о фрактальной структуре финансового рынка как атрибуте системной сложности позволяет лучше понять рефлексивные процессы, о которых идет речь далее.

**Гипотеза 2.** Процесс формирования динамики цены на финансовом рынке определяется двумя группами факторов: детерминированными и случайными.

Исходя из того, что рынок имеет фрактальную структуру (гипотеза 1), можно предположить наличие детерминированной составляющей в процессе формирования динамики цены на рынке капиталов. Детерминированные факторы, влияющие на процессы ценообразования финансового рынка, определяются фрактальностью его структуры.

Однако необходимо отметить, что на финансовом рынке присутствуют и случайные процессы, поэтому целесообразно изучать как детерминированную, так и случайную составляющую рынка. Под случайной составляющей в данном исследовании будем понимать рефлексивность рынка.

Эта гипотеза позволяет с методологической точки зрения определить, что оба вида процессов, проходящих на финансовых рынках, — детерминированные и случайные — нужно учитывать при моделировании динамики рыночной цены (см. формулу (1)).

**Гипотеза 3.** Волатильность рынка можно использовать как количественную меру системной сложности финансового рынка.

Некоторые авторы считают волатильность количественной мерой риска получения убытка при операциях на финансовых рынках [17–19]. Использование такой меры поможет существенным образом упростить подход к прогнозному моделированию динамики цены с учетом волатильности рынка.

Волатильность финансового рынка подробно обсуждается далее.

**Гипотеза 4.** Динамика цены как вектор (ее изменения) отражает все процессы на рынке, подобно равнодействующей всех сил в механике.

Использование этой гипотезы дает возможность существенным образом сократить количество параметров и переменных, которые учитываются в модели, и уделить больше внимания исследованию степени влияния долгосрочной «памяти» (которая, по нашему мнению, нашла свое отображение во фрактальной структуре рынка) и текущих изменений, время влияния на рыночные процессы ценообразования которых является незначительным (здесь будет уделено внимание текущей волатильности рынка).

**Гипотеза 5.** Для адекватного анализа процессов на финансовом рынке более важной является текущая динамика цены по сравнению с динамикой на большом временном промежутке, учитывающим прошлые события, т. к. из-за множественности текущих воздействий на рынок прошлая рыночная информация быстро устаревают.

Методологический смысл этой гипотезы сводится к следующему: так как СЭС, к которым относятся и финансовый рынок, относятся к сложным динамическим системам, влияние событий, произошедших в далеком прошлом, на текущее состояние системы — мало. Поэтому, чем ближе по времени прошлое событие к текущему состоянию системы, тем более ощутимо его влияние на это состояние.

Доказательства справедливости предложенных гипотез требуют дальнейших исследований. Однако сформулированные гипотезы о природе финансовых рынков с методологической точки зрения позволяют более аргументировано анализировать процессы, проходящие на финансовых рынках, и строить адекватные модели этих процессов.

**Замечание.** Все САСС не являются абсолютно независимыми. Более того, они оказывают друг на друга постоянное, иногда существенное, влияние.

Так, уменьшение уровня информационной неопределенности на финансовом рынке приводит к сокращению количества рефлексивных процессов на нем и, как следствие, к сокращению одновременно присутствующих на рынке ИВГ, формирующих фрактальную структуру финансового рынка. Это, в свою очередь, уменьшает системную сложность СЭС.

При увеличении уровня неопределенности рыночной информации — увеличивается количество рефлексивных процессов, проходящих на рынке, а фрактальная структура рынка пополняется дополнительными ИВГ из-за увеличения диапазона инвестиционных предпочтений ЛПР. Рынок адаптируется к изменениям в его информационной среде, что приводит к увеличению его системной сложности.

### 3. Рефлексивность процессов, проходящих на финансовом рынке

Рефлексивным процессам в СЭС посвящено большое множество работ: достаточно сказать, что в Российской Федерации выходит журнал «Рефлексивные процессы и управление», выпускаемый Институтом психологии РАН при участии Института философии РАН, на страницах которого регулярно появляются публикации, посвященные рефлексивности в СЭС. В Украине в течение последних 3 лет выходила монография «Рефлексивные процессы в экономике: концепции, модели, прикладные аспекты», выпускаемая в Институте экономики промышленности НАН Украины. Среди наиболее важных работ в этом направлении следует выделить работы Авилова А. В. [20], Лепы Р. Н. [21], Лефевра В. А. [22] и Рудыка Н. Б. [23], в которых представлены различные взгляды на концепцию рефлексивности.

По нашему мнению, для финансового рынка более всего подходит концепция рефлексивности, предложенная Дж. Соросом в работе «Алхимия финансов».

По мнению Дж. Сороса, в основе принятия инвестиционных решений экономическим агентом по совершению им спекулятивных операций на финансовом рынке лежат ожидания участников. Как отмечал Дж. Сорос: «Ожидания, относящиеся к будущим ценам, являются основой мотиваций в спекулятивных операциях с капиталом» [24, с. 42]. Под спекулятивными операциями в этом случае следует понимать сделки по покупке-продаже финансовых активов в целях получения прибыли от изменения цен.

Дж. Сорос описывает рефлексивность как механизм двусторонней обратной связи между мышлением и реальностью, между настоящими решениями и будущими событиями, а точнее порожаемое этой связью взаимодействие [24, с. 50–52]. Рефлексивность рынка по Соросу означает, что наше мышление активно влияет на события, в которых мы участвуем, и о которых мы думаем. Понятие рефлексивности отражает социальную природу финансового рынка: рынок формируют люди, которые одновременно являются активными участниками процесса ценообразования на нем. То есть экономические агенты являются элементами такой СЭС, которой является финансовый рынок. При этом они сами в режиме реального времени активно воздействуют на систему, рефлексивно отражая свои ожидания в выставляемых котировках, что, в свою очередь, влияет на изменения текущего тренда.

Тем самым утверждается, что будущее динамики трендов на финансовом рынке существенно зависит от того, как участники рынка оценивают будущее развитие событий на нем (каковы сегодня прогнозы, предпочтения, ожидания участников рынка) [24, с. 36].

При этом нужно понимать, что эти предпочтения и ожидания у разных экономических агентов, торгующих на одном и том же финансовом рынке, отличаются друг от друга. Это связано со многими факторами:

- уровнем и скоростью восприятия рыночной информации индивидуумом;
- квалификацией и опытом экономического агента;
- инвестиционными стратегиями и объемом имеющихся в распоряжении агента инвестиционных ресурсов;
- психологией экономического агента;
- наличием индивидуальных стереотипов мышления и парадигм агента;
- и т. п.

Вышеперечисленные факторы не исчерпывают весь список. Но они важны для понимания важности учета рефлексии при разработке подходов к анализу

и прогнозированию динамики цены на финансовом рынке.

Индивидуальные инвестиционные предпочтения и ожидания, а также субъективные особенности психологии понуждают экономического агента совершать сделки, опираясь на сознательно отфильтрованную (в соответствии с инвестиционными стратегиями и индивидуальными парадигмами) рыночную информацию. При этом различие в фильтрации информации приводит к появлению различных котировок, которые являются результатами рыночных ожиданий конкретных индивидуумов — участников торгов на финансовом рынке.

Таким образом, текущая цена на финансовом рынке — это интегрированный результат таких индивидуальных рефлексивных воздействий на динамику цены со стороны всех экономических агентов, одновременно действующих на рынке.

Рефлексивность — один из атрибутов любого финансового рынка, который существенно влияет на повышение уровня сложности такой (СЭС). Именно рефлексивность, отраженная в текущих предпочтениях участников торгов, является движущей силой финансового рынка, постоянно удаляя эту СЭС от состояния равновесия, что принуждает систему адаптироваться к воздействиям на нее.

Рефлексивные процессы (РП), проходящие на финансовом рынке, с позиции конкретного ЛПР можно условно разделить на 3 группы:

1. РП, связанные с анализом информации, поступающей из-за пределов финансового рынка. Здесь следует рассматривать фундаментальный анализ такой информации как источник РП этого вида.
2. РП, связанные с анализом информации, поступающей с рабочего ИВГ. Здесь, прежде всего, речь идет о техническом анализе текущей динамики цены на этом ИВГ как источнике РП этого вида.

**Определение 4.** Рабочим инвестиционно-временным горизонтом является такой горизонт, глубина которого соответствует инвестиционным предпочтениям ЛПР и анализ ценовой информации по которому проводится ЛПР с периодичностью, определяемой глубиной этого горизонта.

3. РП, связанные с анализом информации, поступающей с ИВГ других глубин. Здесь речь идет о сравнении динамики цены на рабочем ИВГ с динамикой цены на ИВГ с другой глубиной. При этом ИВГ с существенно большей глубиной горизонта, чем на рабочем ИВГ, как правило, является источником информации о долгосрочной доминирующей динамике цены, а ИВГ с глубиной горизонта, которая меньше глубины рабочего ИВГ позволяет точнее определить моменты начала и завершения текущей сделки.



Любой из перечисленных выше видов РП прежде всего связан с анализом текущей динамики цены на рабочем ИВГ. Эта динамика является наиболее существенной информацией для анализа и разработки прогноза.

Именно поэтому наиболее перспективными представляются исследования рефлексивных процессов на финансовых рынках, относящихся ко второй группе из вышеперечисленных видов РП.

Следовательно, при прогнозном моделировании трендов на финансовом рынке в режиме реального времени необходимо учитывать рефлексивность. Отсюда появляется необходимость в разработке нового, адекватного инструментария, который бы учитывал рыночные рефлексивные процессы.

#### 4. Текущая волатильность на финансовом рынке

Исследования волатильности в свое время стимулировались, как ни странно, неудовлетворительным качеством проведения циклического анализа финансового рынка, когда проблема анализа, собственно, и уперлась в непредсказуемость величины волатильности рынка на внутрисдневных глубинах горизонтов. Причем было замечено, что на ИВГ с глубиной горизонта в месяц или неделю циклический анализ работал более или менее удовлетворительно, а вот на меньших глубинах горизонтов он совершенно не работал.

Волатильность как мера неустойчивости рынка оказывает существенное влияние на изменение поведения, как трендов, так и самих экономических агентов. Волатильность характеризует величину возможных курсовых колебаний цены финансового инструмента за выбранный промежуток времени. Неучет волатильности существенно искажает результаты анализа рыночных процессов.

Наличие большой волатильности на финансовом рынке повышает интерес инвесторов, прежде всего в спекулятивных целях, к таким рынкам. Малая волатильность рынка приводит к снижению интереса к такому рынку, так как снижается размер предполагаемой доходности от операций на нем.

Аналитики при выборе финансового инструмента обычно используют такие традиционные показатели, как доходность и риск. Причем и доходность, и риск выбранного инструмента оцениваются в отдельный взятый момент времени или, в лучшем случае, для конечного дискретного временного ряда. В действительности же динамика цены на различные финансовые инструменты все время меняется: по одному инструменту медленнее, по другому — быстрее. В связи с этим часто на передний план характеристики рынка выдвигается его волатильность в

качестве количественной меры прошлого или будущего курсового разброса исследуемого инструмента. Особенно это актуально для срочного рынка опционов и фьючерсов [18, с. 15–17].

Общепринято волатильность рынка измерять в единицах стандартного отклонения  $\sigma$ , причем считается (и этот факт часто используется участниками рынка в практических целях — см., например, индикаторы технического анализа С. Кейнс [16, с. 349–359]), что волатильность рынка пропорциональна корню квадратному от времени наблюдения. Действительно, согласно гипотезе статистической природы финансового рынка, цена закрытия практически любого его высоколиквидного инструмента на внутрисдневных интервалах времени описывается гауссовским случайным блужданием [18, с. 27].

«Однако многочисленные исследования финансового рынка, проведенные за последние десять лет, показали, что на самом деле волатильность рынка проявляет следующие характерные черты:

1. Со временем волатильность рынка увеличивается заметно быстрее, чем просто корень квадратный от времени.
2. На различных сегментах финансового рынка волатильность ведет себя по-разному» [18, с. 56].

В анализе динамики цены используются несколько видов волатильности. Ниже представлены названия и формулы, по которым вычисляется тот или иной вид волатильности.

1. Волатильность историческая [18, с. 40]:

$$\text{Истор.волат.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{n-1} - \frac{(\sum_{i=1}^n u_i)^2}{n(n-1)}} \times \sqrt{253}, \quad (2)$$

где  $u_i$  — натуральный логарифм относительного изменения цены  $S$ :

$$u_i = \ln \frac{S_i}{S_{i-1}}.$$

Историческая волатильность представляет собой размах колебаний цены инструмента в определенный период в прошлом (как правило, за год), для прогнозирования поведения валюты в будущем.

2. Волатильность Паркинсона [18, с. 41]:

$$\begin{aligned} \text{Волатильность Паркинсона} &= \\ &= 0,627 \times \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \log \frac{\text{Максимум}_i}{\text{Минимум}_i}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\text{Максимум}_i$  и  $\text{Минимум}_i$  — соответственно максимальное и минимальное значение цены за  $i$ -тый период времени  $\Delta t$ .

Как видно из формулы волатильности Паркинсона, она вычисляется за  $n$  периодов времени  $\Delta t$ , то есть также учитывает в расчете историю процесса.

3. Волатильность Чайкина [18, с. 41]:

$$\text{Волатильность Чайкина} = \left( \frac{\text{EMA(Диапазон)}}{\text{EMA(Диапазон\_n\_периодов\_назад)}} - 1 \right) \times 100, \quad (4)$$

где

$$\text{EMA(сегодня)} = \lambda \times \text{Close(сегодня)} + (1 - \lambda) \times \text{Close(вчера)}; \quad 0 < \lambda < 1.$$

Волатильность Чайкина использует в вычислениях относительную величину, в расчете которой используется также  $n$  периодов времени  $\Delta t$  для учета истории процесса.

4. Волатильность реализованная:

Реализованная волатильность представляет собой стандартное отклонение смежных 20-дневных приращений цены  $S_t$ . Эти приращения являются неперекрывающимися и независимыми [18, с. 146]:

$$V_n = \frac{\sum_{t=1}^n (S_t - \bar{S})^2}{n-1}, \quad (5)$$

$\bar{S}$  — среднее значение  $S$ .

Как видно, толкований понятия волатильность (а, следовательно, и способов ее вычисления) достаточно много. При этом волатильность, как правило, вычисляется с учетом значений ценового ряда за длительный промежуток времени, что приводит к внесению в результаты расчета волатильности влияния «эффекта последствия»: то есть событие состоялось «давно», а его влияние на происходящие «сейчас» на рынке процессы еще ощущается. Здесь волатильность рассматривается как интегральная характеристика динамики цены, хотя ее, как правило, используют для текущих прогнозов будущего значения цены на финансовых рынках. Поэтому такое несоответствие вносит в сам процесс вычисления значения волатильности и ее использования элемент некорректности.

Кроме того, существует определенная неоднозначность в толковании понятия волатильность при разработке программ, использующихся в дилинговых центрах. Так, в программном продукте Omega Research Prosuite 2000i ver.5/00/0822, разработанном в 2001–2002 гг. Trade Station Security Inc., существуют как минимум три различных инструмента технического анализа (Volatility, Volatility Extreme Value, Volatility Standard Deviation), которые по-разному интерпретируют понятие «волатильность» и вычисляют различные числовые значения.

Рассмотренные выше виды волатильности обладают тремя существенными недостатками:

- 1) Они рассчитываются за длительный промежуток времени, что приводит к элементу некорректности их использования в текущем анализе динамики цены: событие, которое произошло в прошлом, влияет на результат текущего расчета такого вида волатильности. Эти толкования понятия волатильности не совсем отражают смысл изменчивости рынка, которая, как правило, имеет кратковременное, текущее влияние на динамику цены.
- 2) При расчете указанных видов волатильности присутствует управляющий параметр  $n$  (а в случае волатильности Чайкина еще и  $\lambda$ ), величину которого назначает сам пользователь, исходя из своих субъективных соображений. Это, в свою очередь, приводит к неоднозначности результатов вычислений таких видов волатильности.
- 3) Из данных определений не совсем ясен социально-экономический смысл того или иного вида волатильности и, следовательно, методика его применения в анализе рыночных процессов.

Поэтому предлагается иное понятие волатильности — текущая волатильность (CV, от англ. Current Volatility) для прогнозирования динамики цены на финансовом рынке, расчет которой построен на ином принципе.

Цены на финансовых рынках поставляются пользователям в виде четырехмерного вектор-ряда  $\vec{P}(t) = (Open(t), High(t), Low(t), Close(t))$  (см. рис. 2). При этом если за период  $\Delta t$ , который иногда называют «ценой» свечи,  $Open(t) > Close(t)$ , то свечу окрашивают в черный цвет (свеча 2 на рис. 2). А если за период  $\Delta t$   $Open(t) < Close(t)$ , то свечу окрашивают в белый цвет (свеча 1 на рис. 2).

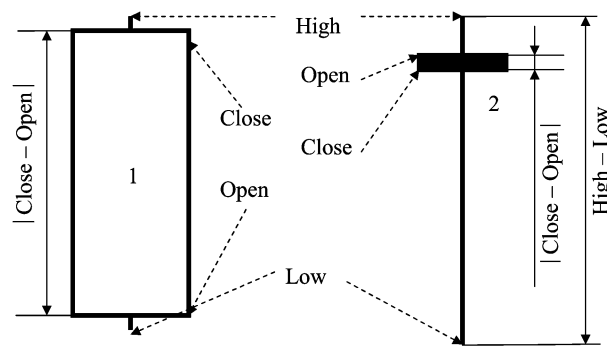
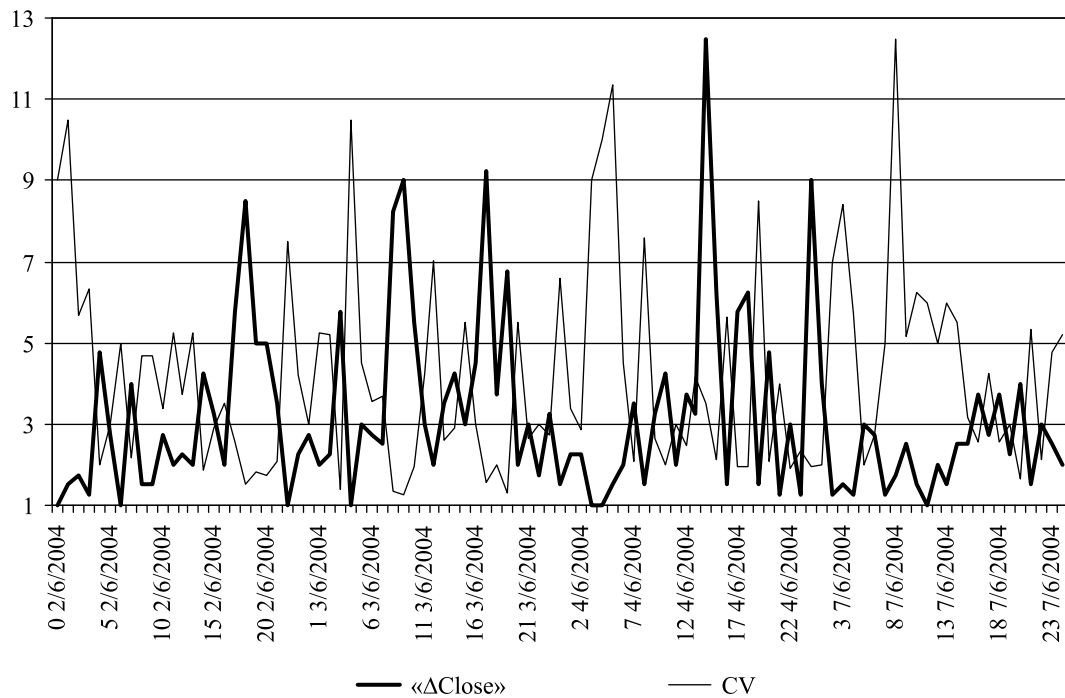


Рис. 2. Представление цены за период времени  $\Delta t$  в виде свечей


 Рис. 3. Графики изменения CV и тренда  $|\Delta\text{Close}|$ 

Формула для вычисления значения показателя CV имеет вид:

$$CV = \frac{\text{High} - \text{Low}}{|\text{Open} - \text{Close}|} \geq 1 \quad (6)$$

Модуль в знаменателе формулы (6) учитывает возможность того, что Open может быть как больше, так и меньше Close. В числителе модуль отсутствует, так как  $\text{High} \geq \text{Low}$  всегда (см. рис. 2).

Формула (6) определяет, во сколько раз высота «тела» свечи — в диапазоне цен  $\text{Open} \div \text{Close}$  — меньше высоты «теней» той же свечи — в диапазоне цен  $\text{High} \div \text{Low}$  (см. рис. 2).

В случае если знаменатель формулы (6) равен 0, применяется формула (7), являющаяся модифицированной формулой (6):

$$CV = \frac{\text{High} - \text{Low} + \varepsilon}{\varepsilon} \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  — величина, меньшая на порядок, чем величины, участвующие в расчете. В нашем случае  $\varepsilon = 1/10$  котировочного пункта. То есть  $\varepsilon$  меньше любой значения цены, участвующего в расчетах, как минимум в 10 раз.

Формула (7) предназначена для свечей, у которых  $|\text{Open} - \text{Close}| = 0$  (то есть «тело» свечи — в интервале  $\text{Open} \div \text{Close}$  имеет нулевую высоту), и позволяет различать, насколько значение CV отли-

чается для свечей с различной геометрией «теней» (часть, оставшаяся вне «тела» свечи). Так, например, «тело» свечи № 2 (см. рис. 2) имеет практически нулевую высоту. Свечи с таким «телом» появляются на экранах мониторов участников торгов, как правило, когда происходит либо смена текущего тренда, либо его коррекция. То есть уменьшение размеров «тела» текущей свечи при росте его «теней» (как это выглядит для свечи 2 на рис. 2) подает сигнал участникам торгов о том, что текущий тренд снижает темп своего роста. Напротив, свечи, «тело» которых существенно больше «теней» (см. свечу № 1 на рис. 2), «сообщают» участникам торгов о том, что текущий тренд скорее всего будет продолжаться.

Социально-экономический смысл CV, рассчитанной по формуле (6), заключается в том, что этот показатель показывает, насколько тренд, действующий в течение исследуемого периода  $\Delta t$ , становится рискованным (непредсказуемым) для продолжения работы в рынке.

Чем больше значение CV, тем значительно отличаются мнения участников рынка о соответствии текущей цены на исследуемый актив за период времени  $\Delta t$  текущему тренду. Как только значение показателя CV начинает существенно превышать 1, это означает, что общая длина «теней» существенно больше длины «тела» свечи. Как показали исследования, это происходит, когда на рынке — боковой или вяло текущий тренд, и мнения экономических

агентов о будущей динамике цены разноречивы, и следует ожидать существенного изменения текущего тренда — ослабления или разворота текущего тренда — то есть повышения непредсказуемости поведения динамики цены. И, как следствие, рекомендуется закрыть все заключенные ранее сделки в направлении действующего тренда. При этом наилучшим временем для закрытия позиций (с точки зрения максимизации прибыли участника рынка) следует считать тот момент, когда значение показателя CV достигнет локального максимума.

Снижение величины CV говорит о том, что участники рынка стали более единодушны во взглядах о будущей динамике цены на рынке и текущий тренд, по крайней мере, начал формироваться.

Этот тезис наглядно подтверждается на рис. 3, где представлены графики изменения CV и количественного показателя силы тренда  $|\Delta \text{Close}|$  за период с 00:00 02.06.2004 г. по 00:00 08.06.2004 г. для часового ИВГ валютной пары EUR/USD, где  $\Delta \text{Close} = \text{Close}_{\text{текущая}} - \text{Close}_{\text{текущая}-\Delta t}$  ( $\Delta \text{Close}$  рассматривается по модулю с множителем 2500 и увеличен на 1,0 для повышения наглядности рисунка),  $\Delta t = 1$  час. Очевидно, что с повышением значения  $|\Delta \text{Close}|$  уменьшается значение CV и, наоборот — с повышением значения показателя CV уменьшается значение  $|\Delta \text{Close}|$  (см. рис. 3).

На рис. 3. по оси абсцисс отложены даты и часы внутри суток, а по оси ординат соответствующее значение показателей.

Из графика на рис. 3 можно сделать вывод, что показатель CV, как правило, по динамике своего значения противоположно направлен динамике действующего тренда. Чем сильнее тренд (чем больше величина  $|\Delta \text{Close}|$ ) — мнения экономических агентов о будущей динамике цены на анализируемом ИВГ становятся однородными — тем меньше величина показателя CV. И наоборот: чем слабее тренд (чем меньше величина  $|\Delta \text{Close}|$ ), тем больше величина показателя CV — мнения экономических агентов о будущей динамике цены на анализируемом ИВГ становятся неоднозначными.

Исходя из социально-экономического смысла, заложенного в понятие текущей волатильности, показатель CV можно считать количественной мерой рефлексивности финансового рынка, что было показано в [25].

Более того, в [26] с помощью энтропии Грассбергера-Прокаччия было показано, что показатель CV можно также считать количественной мерой риска

Практическое использование показателя CV в прогнозном моделировании динамики цены на финансовых рынках было успешно реализовано в моделях [27–28]. При этом, в прогнозном моделировании динамики цены на финансовых рынках показате-

ль CV показал себя как адекватная количественная мера учета инвестиционных предпочтений ЛПР, которые находят свое отражение в рефлексивных процессах на финансовых рынках.

## Выводы

1. В работе показано, что у финансовых рынков есть существенные атрибуты системной сложности, некоторые из которых описаны в работе.
2. Из перечисленных в работе существенных атрибутов системной сложности для анализа и прогнозирования динамики цены на финансовом рынке наиболее актуальными являются рыночная информация, фрактальная структура и рефлексивность рынка.
3. На примере рефлексивности было показано, что у некоторых существенных атрибутов системной сложности финансового рынка есть адекватная количественная мера. Согласно излагаемому в работе концептуальному подходу в качестве количественной меры системной сложности для рефлексивности аргументировано была предложена текущая волатильность рынка.

В дальнейших исследованиях, на основании предлагаемого в работе концептуального подхода, предполагается разработка количественных мер системной сложности для таких атрибутов финансового рынка, как фрактальная структура и информация.

## Литература

1. *Agaev A., Kuperin Yu. F.* Multifractal analysis and local hoelder exponents approach to detecting stock markets crashes. <http://arXiv:cond-mat/0407603>.
2. *Andersson M. K.* On the effects of imposing or ignoring long memory when forecasting // Working Paper Series in Economics and Finance. 1998. № 225. [sfb649.wiwi.huberlin.de/fedc.../xaghtmlnode100.html](http://www.huberlin.de/fedc.../xaghtmlnode100.html).
3. *Bouchaud J. P.* Economics needs a scientific revolution. <http://www.nature.com/nature/journal/v455/n7217/full/4551181a.html>.
4. *Автономов В. С.* Методологические проблемы современной экономической науки // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 3. С. 203–208.
5. *Pincus S., Kalman R. E.* Irregularity, volatility, risk, and financial market time series // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2004. V. 101. № 38. P. 13709–13714.
6. *Полтерович В. М.* Кризис экономической науки. Доклад на научном семинаре Отделения экономики и ЦЭМИ РАН «Неизвестная экономика». <http://www.cemi.rssi.ru>.
7. *Дербенцев В. Д.* Синергетичні та еконофізичні методи дослідження динамічних та структурних характеристик економічних систем. Монографія / В. Д. Дербенцев, О. А. Сердюк, В. М. Соловйов, О. Д. Шарاپов. Черкаси: Брама-Україна, 2010. 300 с.

8. *Casdagli M.* Chaos and Deterministic versus Stochastic Non-linear Modeling // *Journal of the Royal Statistical Society*. 1991. V. 54. P. 303–328.
9. *Bondt W., Thaler R.* Does the Stock Market Overreact? // *Journal of Finance*. 1985. V. 40. P. 793–808.
10. *Куссий М. Ю.* Прогнозное моделирование динамики трендов на FOREX с учетом взаимодействия инвестиционно-временных горизонтов // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Фінансово-кредитне стимулювання економічного зростання» (Луцьк, 3–5 червня 2005 р.). Луцьк: РВВ «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2005. С. 752–753.
11. *Kiv A., Soloviev V., Solovieva K.* Multiscaling of information complexity measures // Інформаційні технології та моделювання в економіці: на шляху до міждисциплінарності: Монографія / За ред. д. ф.-м. н., проф. Соловйова В. М. та ін. Черкаси: Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. С. 12–23.
12. *Батур А. В., Соловйов В. М., Щерба В. В.* Порівняльний аналіз рекурентних та ентропійних мір складності // Інформаційні технології та моделювання в економіці: на шляху до міждисциплінарності: Монографія / За ред. д. ф.-м. н., проф. Соловйова В. М. та ін. Черкаси: Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. С. 84–90.
13. *Рибчинська О. М.* Неревверсивні міри складності // Інформаційні технології та моделювання в економіці: на шляху до міждисциплінарності: Монографія / За ред. д. ф.-м. н., проф. Соловйова В. М. та ін. Черкаси: Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. С. 100–109.
14. *Соловйов В. М., Сердюк О. А.* Використання ентропії Тсалліса для оцінки складності економічних систем // Інформаційні технології та моделювання в економіці: на шляху до міждисциплінарності: Монографія / За ред. д. ф.-м. н., проф. Соловйова В. М. та ін. Черкаси: Брама-Україна, видавець Вовчок О. Ю., 2013. С. 115–130.
15. *Петерс Э.* Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике. М.: Интернет-трейдинг, 2004. 304 с.
16. *Якимкин В. Н.* Финансовый дилинг. Книга 1. М.: ИКФ Омега-Л, 2001. 469 с.
17. *Хаслер У.* Обусловленная временем волатильность и нестационарные временные ряды (посвящается присуждению Нобелевской премии Роберту Инглу и Клайву Гренжеру) // Журнал европейской экономики. 2004. Т. 3. № 1. С. 38–48.
18. *Чекулаев М.* Риск-менеджмент: управления финансовыми рисками на основе анализа волатильности. М.: Альпина Паблишер, 2002. 344 с.
19. *Якимкин В. Н.* Волатильность рынка FOREX // Валютный спекулянт. 2001. № 8. С. 28–30.
20. *Авилов А. В.* Рефлексивное управление. Методологические основания: Монография. М.: ГУУ, 2003. 174 с.
21. *Лена Р. Н.* Модели рефлексивного управления в экономике: Монография. Донецк: НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти, 2012. 380 с.
22. *Левевр В. А.* Рефлексия. М.: Когито-Центр, 2003. 496 с.
23. *Рудык Н. Б.* Поведенческие финансы или между страхом и алчностью. М.: Дело, 2004. 272 с.
24. *Сорос Дж.* Алхимия финансов. М.: Инфра-М, 1996. 415 с.
25. *Куссий М. Ю.* Методологические основы применения рефлексивности в прогнозном моделировании трендов на финансовых рынках // Рефлексивные процессы в экономике: концепции, модели, прикладные аспекты: Монография; под ред. Р. Н. Лепы: НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти. Донецк: АПЕКС, 2011. С. 144–162.
26. *Ермоленко Г. Г.* Выявление зависимости волатильности от энтропии на FOREX / Г. Г. Ермоленко, М. Ю. Куссий, Р. А. Морозов, С. В. Щербина // Культура народов Причерноморья. 2006. № 74. Т. 2. С. 16–19.
27. *Куссий М. Ю.* Использование показателя волатильности в моделях прогнозирования тренда // Ученые записки ТНУ. 2003. Т. 16 (55). № 1. Экономика. С. 83–88.
28. *Куссий М. Ю., Дудко А. В.* Трехпараметрическая модель для прогнозирования динамики цены на финансовых рынках // Ученые записки ТНУ. 2011. Т. 24 (63). № 1. Экономика и управление. С. 123–130.

**Куссий Михаил Юрьевич.** Доцент ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»). К. э. н. Окончил в 1982 г. Симферопольский ГУ им. Фрунзе. Количество печатных работ: более 130 (в т. ч. 10 монографий). Область научных интересов: Область научных интересов: методология моделирования процессов, проходящих в социально-экономических системах; прикладные теории хаоса и фракталов; волатильность временных рядов, описывающих поведение социально-экономических систем. E-mail: [mikhailkussy@gmail.com](mailto:mikhailkussy@gmail.com)