

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

УДК 336.767

Р.И. Соколов, аспирант,¹
г. Екатеринбург, Россия

ФИЛЬТРАЦИЯ СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЦЕНЫ АКТИВА МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОЙ МАРКОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Существующие методы технического анализа являются эмпирической квинтэссенцией биржевой игры и подтверждают свою эффективность только методами математической статистики. Фактически методы технического анализа позволяют повысить вероятность заключения прибыльных сделок. Таким образом, возникает необходимость создать обработчик функции изменения цены для фильтрации случайной составляющей и выделения детерминированной составляющей с целью выделения точки смены тренда и оптимизации временной точки открытия и закрытия позиции. В качестве решения поставленной задачи был разработан обработчик стохастической функции, определяющей изменение цены актива, методом марковской теории нелинейной фильтрации. Оценка эффективности синтезированного приемника проводилась на основании цифрового моделирования процесса обработки смеси детерминированного сигнала и белого гауссовского шума. Показано, что разработанный обработчик позволяет осуществлять фильтрацию случайной составляющей цены ликвидных акций котирующихся на бирже ММВБ, с целью разработки прибыльной трейдерской стратегии. Полученный график оценки марковского случайного процесса $\lambda(t)$ на выходе фильтра периодически пересекает график исходного случайного процесса. При этом пересечения графиков происходит только в момент изменения направления движения (тренда) оценки $\lambda(t)$. Таким образом, в идеальном случае, если предположить, что сделку можно совершать точно в момент пересечения графиков, то каждая сделка является как минимум безубыточной. Ставится задача о приближении реальных условий совершения сделок к идеальным. Для этого необходимо разрешить вопрос о фрактальных свойствах рынков и о предельных возможностях использования высокочастотных торговых роботов и алгоритмов.

Ключевые слова: нелинейная марковская фильтрация, обработка стохастической функции, определение тренда фондового актива, трейдерские стратегии, высокочастотные алгоритмы, фрактальность рынка, технический анализ, цифровое моделирование, точка входа.

Актуальность темы исследования

Теория финансового бихевиоризма предлагает статистические доказательства рыночной иррациональности. Однако невозможно объективно изучать свойства изменений цен акций без моделей, модели, в свою очередь, строятся только при допущениях, возможных для рациональных рынков [1].

Тем не менее для создания прибыльной трейдерской стратегии нет необходимости однозначно определять рациональность рынка, так как главной отличительной особенностью рынка от других игр является наличие неограниченного времени итерации ставки (открытой позиции). То есть теоретически точка входа в позицию

должна влиять лишь на время получения установленной прибыли, а не определять возможность ее получения для активной стратегии управления портфелем финансовых активов [6]. Исследования У. Экхарда и Р. Дениса показывают, что точка выхода, а не точка входа определяет прибыльность стратегии [9].

Существующие методы технического анализа являются эмпирической квинтэс-

¹ Соколов Ростислав Игоревич – аспирант кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); e-mail: rostik-king@yandex.ru.

сенцией биржевой игры и подтверждают свою эффективность только методами математической статистики [4]. Фактически методы технического анализа позволяют повысить вероятность заключения прибыльных сделок [8]. В частности, одним из методов технического анализа является метод сравнения текущей цены актива с его скользящим средним значением (moving average), представленный на рис. 1 [3]. Однако разница в цене между двумя последовательными точками пересечения может быть положительной или отрицательной величиной с некоторой вероятностью. Это связано с тем, что скользящее среднее определяет совокупную среднюю величину детерминированной и шумовой составляющей цены за некоторый промежуток времени [10].

Таким образом, возникает необходимость создать обработчик функции изменения цены для фильтрации случайной составляющей и выделения детерминированной составляющей с целью выделения точки смены тренда и оптимизации временной точки открытия и закрытия позиции.

Перейдем к постановке задачи и синтезу квазиоптимального обработчика.

Степень изученности проблемы

Применительно к квазиоптимальным методам обработки случайных процессов задачу синтеза можно сформулировать следующим образом [2]. Предполагая заранее (априорно) известными некоторые характеристики полезного сигнала и помехи, а также их функциональное взаимодействие, нужно получить оптимальное приемное и решающее устройство, которое бы наилучшим образом воспроизводило бы исходную функцию или принимало решение с наименьшим числом ошибок.

Для синтеза оптимальных приемных устройств исходными являются два положения:

1. Выбор математически продуктивного критерия оптимальности в соответствии

с физическим смыслом и целевым содержанием практической задачи;

2. Адекватная математическая формулировка задачи, учитывающая все априорные сведения и позволяющая решить ее в соответствии с принятым критерием.

Результатом решения задачи синтеза являются разработка структуры оптимального приемного устройства и количественная оценка его работы.

Для построения оптимальных обработчиков требуются точные априорные сведения. Однако методы обработки, основанные на нелинейной фильтрации, позволяют восстанавливать функцию с достаточной точностью при меньшем количестве априорных сведений. Следовательно [11], возникает необходимость синтезировать обработчики функции изменения цены актива, методом нелинейной фильтрации.

Теория оптимальной нелинейной фильтрации марковских информационных сообщений, разработанная Р. Л. Стратоновичем, дает единую основу для определения структурных схем оптимальных приемников.

В рамках разработанной теории нелинейной фильтрации марковских процессов предполагается, что как информационные, так и неинформационные (сопровождающие) параметры функции являются Марковскими процессами, априорные сведения о которых состоят в знании соответствующих стохастических дифференциальных уравнений.

В общей постановке задачи нелинейной фильтрации следует считать, что полезная функция $s(t, \lambda(t))$ является известной скалярной функцией многомерного марковского случайного вектора $\lambda(t)$ с компонентами $\{\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_i(t), \dots, \lambda_r(t)\}$, представляющими собой случайные процессы-параметры, от которых зависит функция.

Полезная информация может содержаться не во всех компонентах вектора $\lambda(t)$.

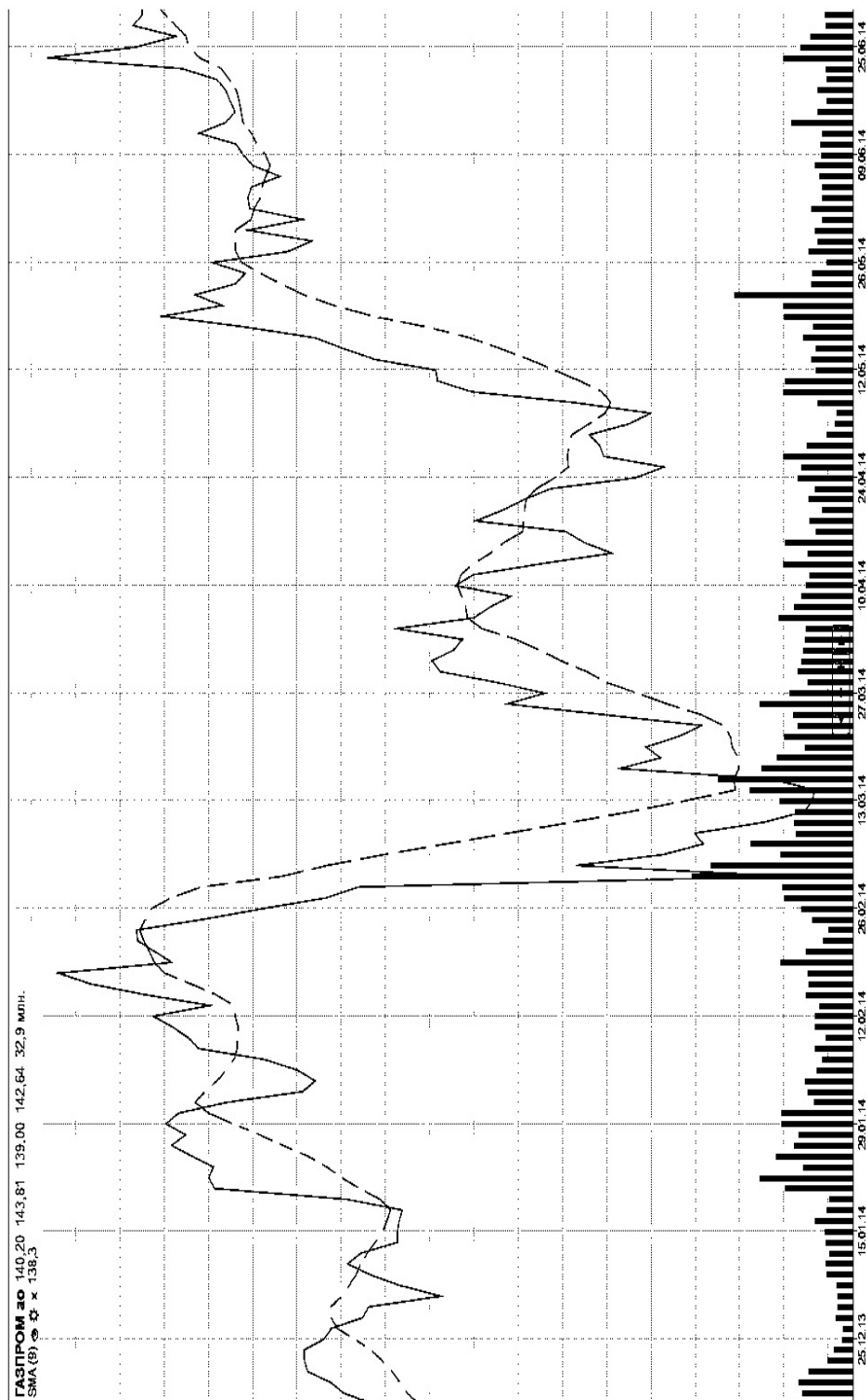


Рис. 1. Сплошной график представляет изменение цены акции Газпрома на бирже ММВБ за период с 25.12.2014 по 25.06.2014, а пунктирный – скользящее среднее значения изменения цены

Задача состоит в том, чтобы выделить информационные компоненты из принятого колебания с наименьшей погрешностью.

В общем случае система обработки случайной функции описывается уравнениями в конечных разностях. Это приводит к тому, что характеристики оптимальных систем обычно представляются весьма сложными и абстрактными математическими выражениями, не позволяющими непосредственно с их помощью разработать практически реализуемые системы. Таким образом, необходимо дополнительно решать задачу о реализации оптимальных систем путем их представления в виде элементов и эквивалентных непрерывных частей [11].

Метод решения и новизна

В случае разработки алгоритмов нелинейной фильтрации целесообразно сделать обычно выполняемое на практике допущение о малости скорости изменения цены акции по сравнению с частотой дискретизации. При этом такую систему возможно описать дифференциальными уравнениями и алгоритмы обработки сигналов получить в непрерывном времени.

Таким образом, в результате решения задач оптимальной нелинейной фильтрации в гауссовом приближении выполнен синтез оптимальных приемников для фильтрации непрерывных марковских процессов [12–14].

Пусть цена акции $s(t)$ представляет собой случайное колебание, определяемое как одномерный марковский случайный процесс $\lambda(t)$, определяемый априорным стохастическим дифференциальным уравнением [10]:

$$\frac{\partial \lambda(t)}{\partial t} = -k_1 \lambda(t) + n_\lambda(t), \quad (1)$$

где $n_\lambda(t)$ – формирующие белые шумы с $\langle n(t_1)n(t_2) \rangle = \frac{1}{2} N_\lambda \delta(t_2 - t_1)$,

N_λ – однородная спектральная плотность белого шума.

Следовательно, финальная апостериорная плотность вероятности параметра $\lambda(t)$, определяется интегродифференциальным уравнением Стратоновича [5]:

$$\frac{\partial W(t, \lambda)}{\partial t} = -\frac{d}{d\lambda} [a(\lambda, t)W] + \frac{1}{2} \frac{d^2}{d\lambda^2} [b(\lambda, t)W] + [F(t, \lambda) - \langle F(t, \lambda) \rangle]W. \quad (2)$$

Здесь $a(\lambda, t)$ и $b(\lambda, t)$ – коэффициенты сноса и диффузии, $F(t, \lambda)$ – производная по времени наблюдения от логарифма функции правдоподобия,

$$F(t, \lambda_t) = -\frac{1}{N_\lambda} [y(t) - \lambda]^2. \quad (3)$$

Уравнение Стратоновича решается при начальном условии:

$$W(0, \lambda_0) = P_0(\lambda_0), \quad (4)$$

где $P_0(\lambda_0)$ – априорная плотность вероятности начального значения λ_0 , и граничных условиях, совпадающих с граничными условиями для соответствующего уравнения Фоккера – Планка – Колмогорова.

Точное аналитическое решение уравнения Стратоновича является неразрешимой задачей. Однако для практических целей необходимо не распределение $\lambda(t)$, а его оценка [2].

За оценочное значение $\lambda(t)$ принимаем значение λ_t , соответствующее максимуму апостериорной плотности вероятности. Следует сделать допущение о том, что апостериорная плотность параметра λ_t будет приближена к нормальной с некоторым средним значением λ_t^* и дисперсией $D_\lambda = k(t)$.

Для данного допущения коэффициент сноса является $a(\lambda, t)$ линейной функцией от λ_t , а коэффициент диффузии $b = \text{const}(\lambda_t)$.

После вычислений получим систему из двух обыкновенных дифференциальных уравнений (5–6):

$$\dot{\lambda}_t = a(\lambda_t) + k(t)F'(t, \lambda_t), \quad (5)$$

$$\dot{k}(t) = -2\alpha k(t) + k^2(t)F''(t, \lambda_t) + b, \quad (6)$$

где $\alpha = -a'(\lambda_t)$.

Задача оптимальной нелинейной фильтрации в гауссовом приближении состоит в решении и моделировании полученной системы уравнений. Решение для нашей задачи является система (7–8):

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t} = -k_1 \lambda + \frac{2}{N_\lambda} (y - \lambda) D_\lambda, \quad (7)$$

$$\frac{\partial D_\lambda}{\partial t} = \frac{1}{2} N_\lambda - 2k_1 D_\lambda - \frac{2}{N_\lambda} D_\lambda^2. \quad (8)$$

На основе полученных уравнений (7–8) построим квазиоптимальный приемник, представленный на рис. 2.

Цифровое моделирование было проведено в программе Simulink пакета MatLab для виртуального генератора цены акции и для реального изменения цены акций Газпрома, котирующихся на рынке ММВБ в период с 23.05.2012 г. по 21.05.2014 г.

Для того чтобы построить источник ценового колебания, необходимо решить стохастическое дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial \lambda(t)}{\partial t} = -k_1 \lambda(t) + n_\lambda(t). \quad (9)$$

Решением для нулевого начального условия является уравнение:

$$\lambda(t) = e^{-kt} \int_0^t e^{kx} n_\lambda(x) dx. \quad (10)$$

На рис. 3 представлен генератор ценовых колебаний виртуального актива и фильтр на основе схемы квазиоптимального приемника нелинейной марковской фильтрации. На рис. 4 – фильтр функции изменения цены реального актива.

Модель квазиоптимальной обработки реализована в программе Simulink пакете программного обеспечения Matlab [17]. Выбор данного программного комплекса для проведения цифрового моделирования обосновывается следующими факторами:

1. Matlab выполняет множество задач для поддержки научных и инженерных работ от сбора и анализа данных до разработки приложений [15].
2. Среда Matlab объединяет математические вычисления, визуализацию и мощный технический язык. Открытая архитектура позволяет использовать Matlab и сопутствующие продукты для исследования данных и быстрого создания пользовательских инструментов [16].

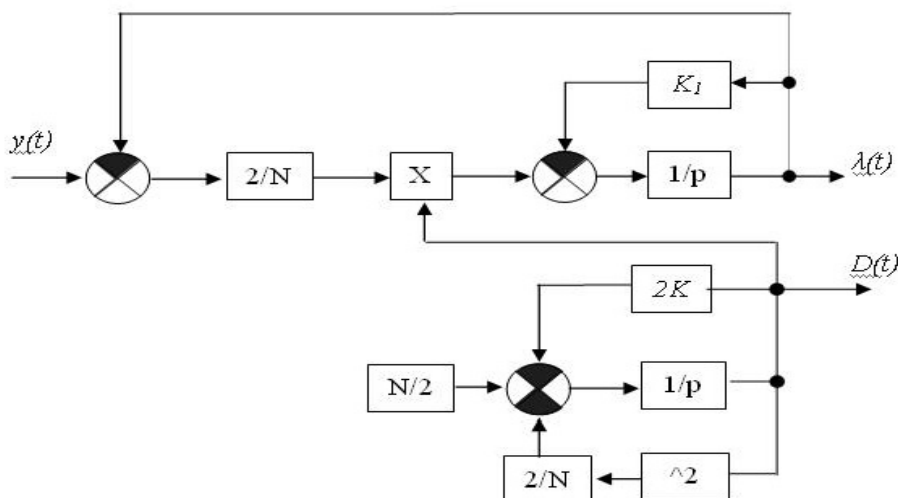


Рис. 2. Квазиоптимальный обработчик функции изменения цены актива, основанный на нелинейной марковской фильтрации

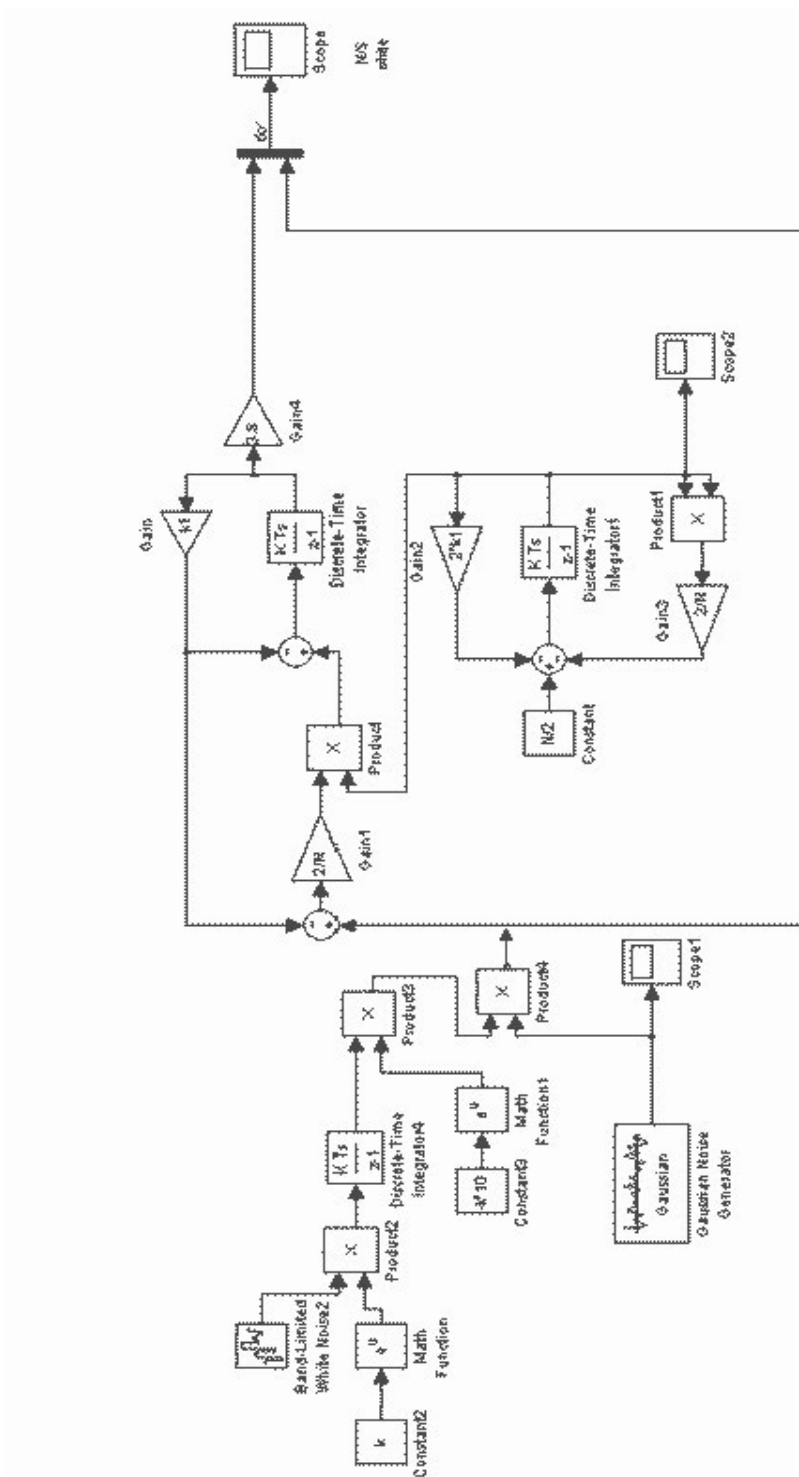


Рис. 3. Схема квазиоптимальный обработчика функции изменения цены виртуального актива в Simulink

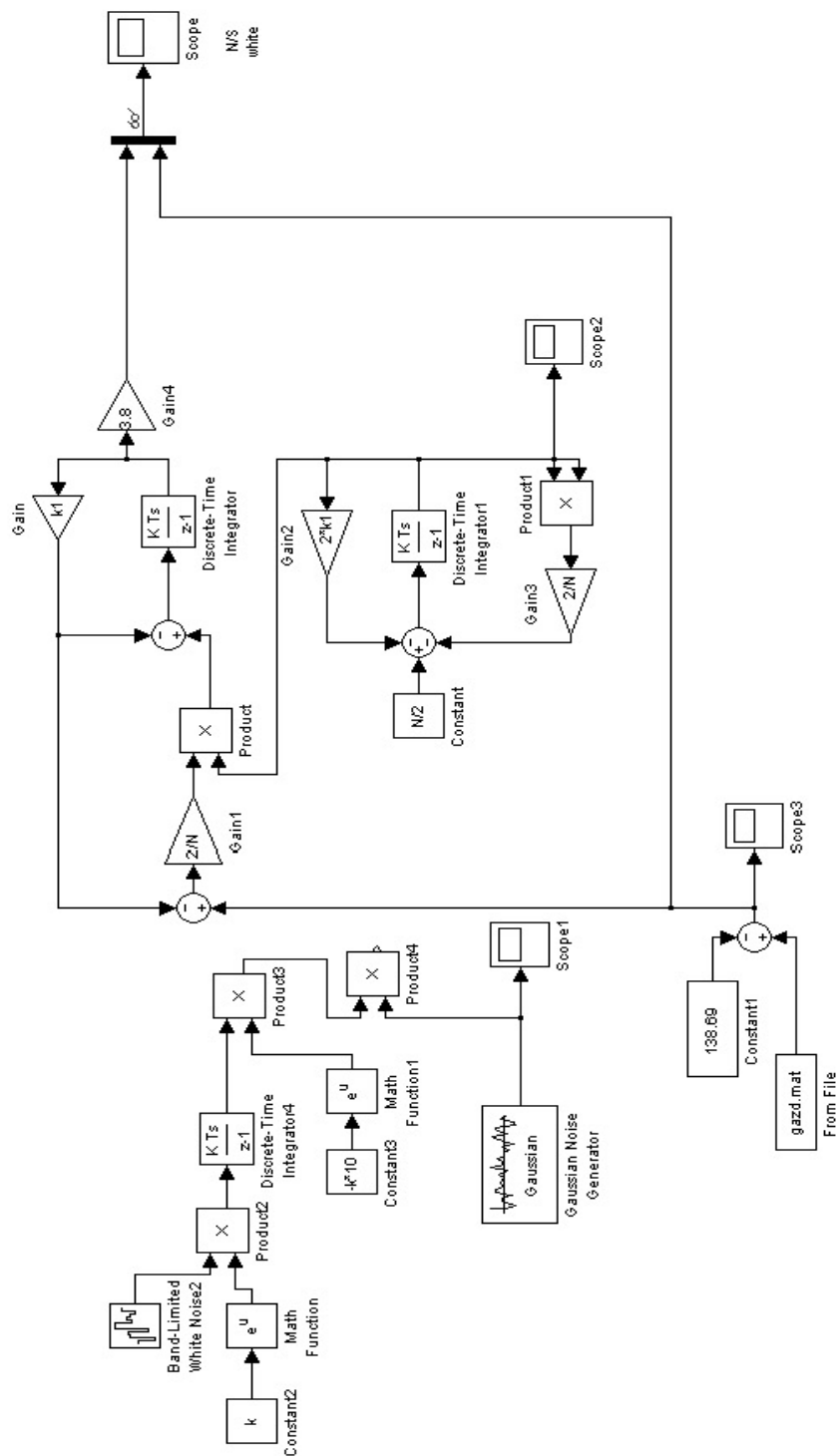


Рис. 4. Схема квазиоптимальный обработки функции изменения цены акции Газпрома на бирже ММВБ за период с 23.05.2012 г. по 21.05.2014 г. в Simulink

3. Simulink является интерактивным инструментом для моделирования, имитации и анализа динамических систем, позволяющим строить графические блок-диаграммы, имитировать динамические системы, исследовать работоспособность.

Реальные данные о дневных ценах закрытия акций Газпрома взяты из открытого источника архива котировок с сайта компании «Финнам». Результаты моделирования фильтрации виртуального актива и акций Газпрома представлены на рис. 5 и 6 соответственно. Сглаженные графики, являющиеся оценками детерминированной составляющей цены на выходе фильтра, накладываются на пунктирные графики реальных изменений цены актива.

Анализ полученных результатов

Из осциллограмм видно, что график оценки марковского случайного процесса $\lambda(t)$ на выходе фильтра периодически пересекает график исходного случайного процесса. Эмпирически легко оценить, что оптимальной торговой стратегией является покупка актива в момент пересечения реальным графиком цены (пунктирная на рисунке) оценочной кривой (сплошная на рисунке) снизу вверх и продажа актива при пересечении сверху вниз.

При этом пересечения графиков происходит только в момент изменения направления движения (тренда) оценки $\lambda(t)$. Таким образом, в идеальном случае, если предположить, что сделку можно совершать точно в момент пересечения графиков, то каждая сделка является как минимум безубыточной.

Таким образом, полученные результаты порождают два ключевых вопроса. Во-первых, если рынок фрактален, то обработчик случайной функции применим для любого временного интервала.

Как показывают примеры из естественных наук, многие природные процессы характеризуются фрактальной размерностью, т. е. свойством самоподобия. Так, структу-

ра листа дерева сходна с веткой и деревом. Считается, что фрактальные структуры предопределяют создание порядка из хаоса. Фрактальные структуры были открыты Бенуа Мандельбротом. Ряд исследователей полагает, что рыночные процессы имеют фрактальную структуру [18].

Фракталы имеют определенные особенности, которые измеримы, и свойства, которые являются желательными для целей моделирования. Первое свойство – самоподобие. Оно означает, что части в некотором роде связаны с целым. Это свойство самоподобия делает фрактал масштабно-инвариантным. Фрактальные зависимости имеют вид прямой на графиках, где обе оси имеют логарифмический масштаб. Модели, описываемые таким образом, должны использовать степенную зависимость (вещественное число, возведенное в степень). Эта особенность масштабирования по степенному закону, является вторым свойством фракталов, фрактальной размерностью, которая может описывать либо физическую структуру, либо временной ряд.

Фрактальная размерность характеризует то, как предмет заполняет пространство. Фрактальная размерность временного ряда измеряет, насколько изрезанным является временной ряд. Согласно ожиданиям прямая линия должна иметь, фрактальную размерность 1, равную ее евклидовой размерности (фрактальная размерность плоскости – 2).

Фрактальная размерность случайного временного ряда составляет 1,5. Фрактальная размерность может быть решена как наклон графика в логарифмическом масштабе по обеим осям. Фрактальная размерность временного ряда важна, потому что она признает, что процесс может быть где-то между детерминистическим (линия с фрактальной размерностью 1) и случайным (фрактальная размерность 1,5). Фактически фрактальная размерность линии может находиться в пределах от 1 до 2. При значениях $1,5 < d < 2$ временной ряд более зазубрен, чем случайная последовательность,

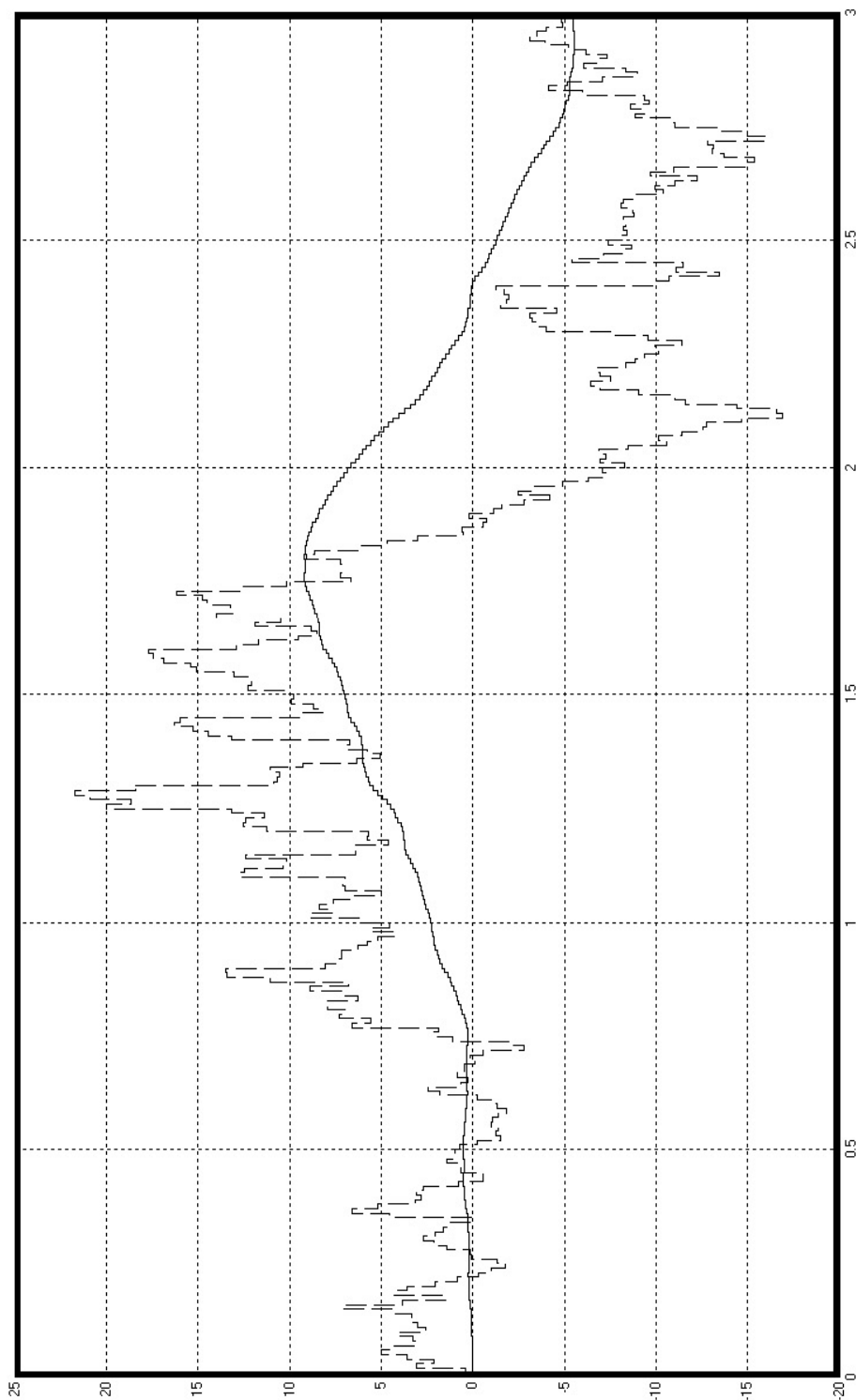


Рис. 5. График детерминированной составляющей цены виртуального актива за период в 300 отсчетов

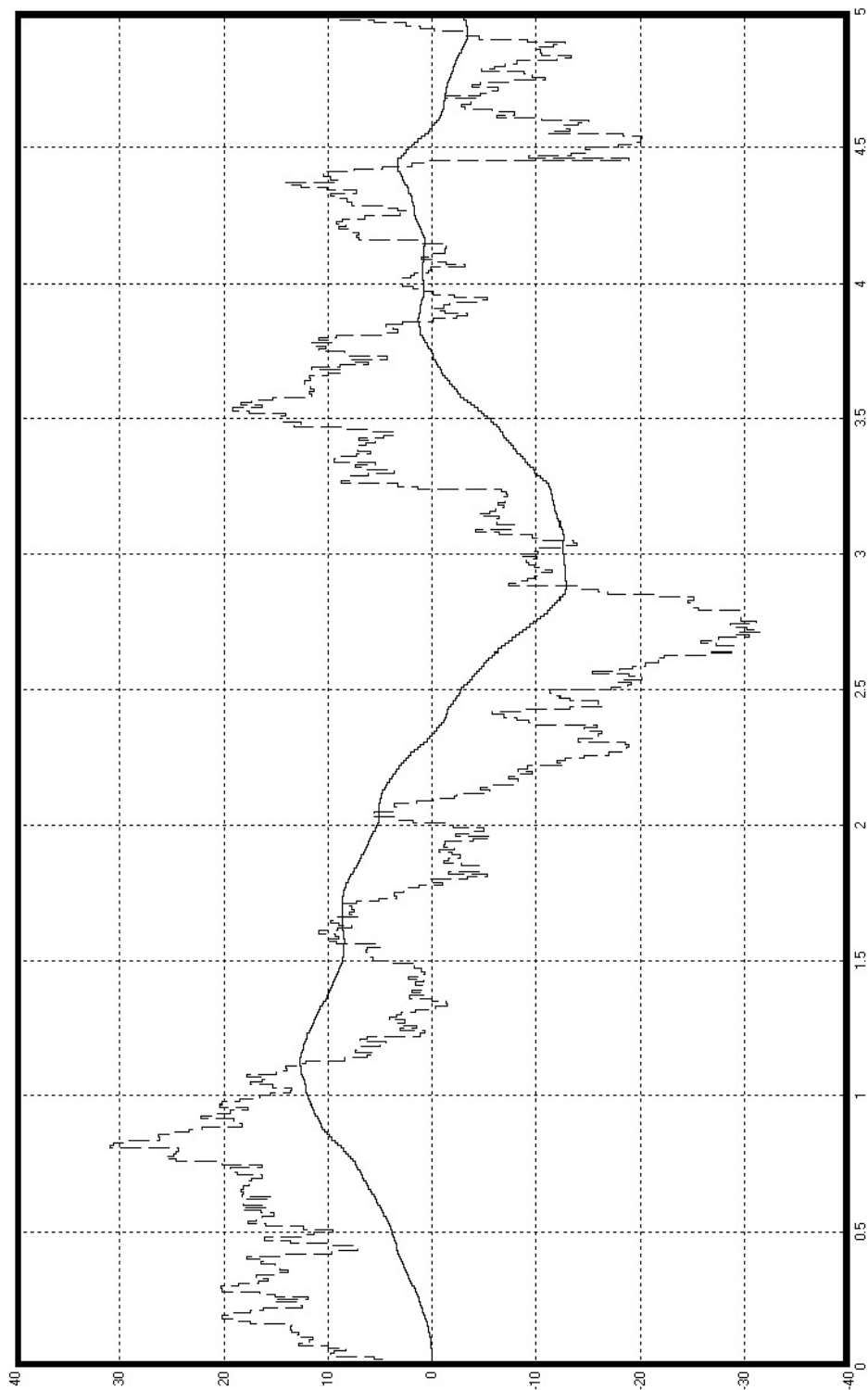


Рис. 6. График детерминированной составляющей цены акции Газпрома на бирже ММВБ за период в 500 отсчетов цен закрытия дня с 23.05.2012 г. по 21.05.2014 г

или имеет больше инверсий. Само собой разумеется, статистика временного ряда с фрактальными размерностями, отличными от 1,5, сильно отличалась бы от гауссовой статистики и не обязательно находилась бы в пределах нормального распределения.

Гипотеза фрактального рынка состоит в том, рынки существуют для того, чтобы обеспечить стабильную, ликвидную окружающую среду для торговли. Инвесторы хотят получить хорошую цену, но она не обязательно будет «справедливой» ценой в экономическом смысле. Инвесторы должны иметь общие уровни риска (с учетом масштаба инвестиционного горизонта), и общий риск объясняет, почему частотное распределение прибыли выглядит одинаково на различных инвестиционных горизонтах. Мы называем такое предположение гипотезой фрактального рынка вследствие такой самоподобной статистической структуры. При нарушении фрактальной структуры рынки становятся нестабильными. Нарушение происходит тогда, когда инвесторы с длинными инвестиционными горизонтами или прекращают участвовать на рынке, или сами становятся краткосрочными инвесторами.

Пока участвуют инвесторы с различными инвестиционными горизонтами, паника на одном горизонте может быть поглощена другими инвестиционными горизонтами в качестве возможности покупки (или продажи). Тем не менее если весь рынок имеет один и тот же инвестиционный горизонт, то он становится нестабильным. Нехватка ликвидности превращается в панику.

В гауссовой окружающей среде большое изменение является суммой многочисленных небольших изменений. Однако во время паники и панических бегств рынок часто перескакивает через цены. Разрывы вызывают большие изменения, и в частотном распределении прибылей появляются жирные хвосты. Эти разрывы в свою очередь являются результатом недостатка ликвидности, вызванного появлением одно-

родного инвестиционного горизонта для участников рынка [19].

Однако гипотеза фрактальности рынка сталкивается с серьезными контраргументами.

Во-первых, наличие фрактальных структур конкретных рынков в определенном временном периоде не позволяет сделать вывод о том, что фрактальность свойственна всем рыночным процессам. Во-вторых, валютные рынки, скорее всего, представляют собой случайный процесс. В-третьих, фрактальность рынка проявляется в один период времени и пропадает в другой период.

Проявление фрактальности международного финансового рынка при его конкретных состояниях может обуславливаться спецификой поступающей на него информации, способной определять нелинейную динамику рыночных показателей и приводить к фрактальности. Изменение в потоках информации предопределяет исчезновение старых тенденций и появление новых трендов.

Согласно концепции Т. Вега, на рыночный механизм воздействуют две группы факторов: 1) фундаментальные, определяемые макроэкономическими факторами; 2) психологические, связанные с особенностями формирования рациональных ожиданий участников рынка и их оценкой поступающей информации.

Т. Вега выделил четыре фазы (состояния) рынков: случайное блуждание; переходные рынки; хаотические рынки; когерентные (последовательные) рынки. В основе этой классификации лежит степень проявления рыночных трендов.

Случайное блуждание представляет собой непредсказуемое поведение рынка. Переходные рынки означают проявление долгосрочных трендов на основе действия устойчивых факторов. Хаотические рынки характеризуются отсутствием проявлений фундаментальных факторов и широкими колебаниями в настроениях участников.

На когерентных рынках наблюдается сочетание устойчивых трендов, предопределяемых макроэкономическими факторами, со стабильными ожиданиями участников рынков. В таком состоянии рынков можно прогнозировать их динамику со значительной вероятностью.

Но концепция Т. Вега не раскрывает механизмы и закономерности перехода из одного указанного выше состояния в другое.

При изучении рыночных процессов, в том числе протекающих на мировом финансовом рынке, следует учитывать следующие особенности.

В экономике процесс взаимодействий между субъектами гораздо более динамичен и неустойчив, чем в других сферах. Новые связи быстро возникают и исчезают. Процессы обмена товарами и услугами, денежные расчеты могут обрываться лишь начавшись.

Если динамика возникающих связей обгоняет динамику разрушающихся связей, то часть экономических субъектов всегда будет оставаться неинформированной. Следует также учитывать, что экономические субъекты способны принимать нестандартные решения, образовывать кооперативные связи, координировать свои действия, быстро обучаться на основе глобально распространяемой информации.

Во временных рядах экономических показателей в силу динамичности информационных процессов в данной системе нет констант, отсутствуют законы подобия.

В экономике периодически возникают и исчезают кратко-, среднесрочные тренды. Но существуют и долгосрочные закономерности, в частности отраслевая структура и кондратьевские волны. Однако и они проявляются в динамике. Можно сказать, что в хозяйственной системе господствуют «блуждающие закономерности». Основа прогнозных оценок в экономике – степень устойчивости информационных потоков [18].

Если первый вопрос решается положительно в смысле применимости фракталь-

ных свойств к рынку, то возникает новая проблема, заключающаяся в возможности совершать сделки в любой момент времени работы биржи.

Для осуществления мгновенных сделок при выполнении заранее установленных условий, применяются высокочастотные алгоритмы и роботы.

Алгоритмическая торговля, или алгоритмический трейдинг (Algorithmic trading), – формализованный процесс совершения торговых операций на финансовых рынках по заданному алгоритму с использованием специализированных компьютерных систем (торговых роботов). Алгоритмическая торговля широко применяется как институциональными инвесторами для эффективного исполнения крупных заявок, так и частными трейдерами и хедж-фондами для получения спекулятивного дохода. В 2009 г. на долю высокочастотной алгоритмической торговли пришлось около 73 % от общего объема торгов акциями в США. На бирже ММВБ в 2010 г., доля высокочастотных систем в обороте на фондовом рынке составляла порядка 11–13 %, а по числу заявок 45 %. По данным РТС, в 2010 г. на долю торговых роботов в обороте на срочном рынке РТС FORTS приходилось примерно 50 %, а их доля в общем количестве заявок в определенные моменты достигала 90 %.

Алгоритмическая и высокочастотная торговля стали предметом многочисленных разбирательств инициированных американскими регуляторами SEC (U.S. Securities and Exchange Commission) и CFTC (Commodity Futures Trading Commission) в связи с обвинением в их причастности к событиям 6 мая 2010 г., когда ведущие фондовые индексы США испытали крупнейшее за всю свою историю внутрисдневное падение. ФСФР России также озабочена проблемами возрастающего влияния алгоритмической торговли, однако профессиональные участники рынка утверждают, что те явления, следствием которых стало падение фондовых индексов США, на россий-

ском рынке отсутствуют в принципе ввиду более эффективного пути его развития.

В высокочастотной торговле предполагается, что потенциальный коэффициент Шарпа (размер вознаграждения на единицу риска) в тысячи раз выше, чем в традиционных операциях купли и продажи биржевых инструментов. Стремясь захватить лишь малую долю цента или рубля за акцию в каждой сделке, роботы входят и выходят из позиций много раз в день.

При алгоритмическом трейдинге применяются:

- высокоскоростные компьютеры;
- скоростные программы и торговые роботы (алгоритмическая и программная торговля, автоматические маркет-мейкеры (АММ), флеш-ордера).

Совокупные прибыли трейдеров, использовавших в торговле высокопроизводительные компьютеры на нескольких площадках в США в 2008 г., составили 21 млрд дол., пишет газета The New York Times со ссылкой на данные исследовательской компании Tabb Group.

Использование мощных вычислительных систем для торговли на бирже в США уже стало обозначаться новым термином – «высокочастотная» торговля (high-frequency trading), поскольку позволяет совершать миллионы сделок за максимально короткий промежуток времени. «Классическим» трейдерам, не вооруженным компьютерами и торговыми роботами, такие скорости не доступны.

Торговым роботом называется компьютерная программа, способная самостоятельно отслеживать данные по нескольким индексам на фондовых биржах и на их основе совершать сделки покупки или продажи.

Считается, что рост использования торговых роботов с максимально агрессивными алгоритмами расчета торговой стратегии привел к усилению волатильности на фондовых рынках в 2008 г.

Число «высокочастотных» трейдеров на биржах последние годы постоянно растет, вызывая тем самым и увеличение объемов торгов.

По данным Нью-йоркской фондовой биржи с 2005 г. объем торгов на ее площадках вырос на 164 %. При этом число «высокочастотных» трейдеров сейчас превышает 50 %. За счет своих скоростей такие участники рынка способны зарабатывать больше, чем «классические» трейдеры, и оказывать заметное влияние на рынок.

По мере электронизации рынков стали внедряться новые торговые алгоритмы. Они лучше реагировали на временные несоответствия рыночных цен и были способны учитывать цены с нескольких рынков одновременно. Таким образом, работа, которая некогда выполнялась людьми, теперь была передана компьютерам. Поэтому очень важным стала скорость компьютерного соединения, которая стала измеряться в миллисекундах (0,001 сек.) и даже микросекундах (0,000001 сек.).

Наиболее автоматизированные площадки США, например NASDAQ (система автоматической котировки Национальной ассоциации фондовых дилеров), Edge и BATS, отобрали значительный кусок у менее автоматизированных, например NYSE (фондовая биржа Нью-Йорка). Электронные торги своей масштабностью привели к понижению сборов и комиссионных, а еще подтолкнул биржи к международным слияниям и консолидации финансовых рынков.

Биржи постоянно ведут конкурентную борьбу за лучшую скорость момента обработки ордеров. Например, в июне 2007 г. Лондонская фондовая биржа запустила новую систему, которая называется TradElect. Она способна исполнять ордер за 10 миллисекунд, а пропускная способность составляет 3000 ордеров в секунду. Но сейчас некоторые биржи сократили скорость исполнения до 3 миллисекунд.

Основные выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Из осциллограмм видно, что график оценки марковского случайного процесса $\lambda(t)$ на выходе фильтра периодически пересекает график исходного случайного процесса. Эмпирически легко оценить, что оптимальной торговой стратегией является покупка актива в момент пересечения реальным графиком цены (пунктирная на рисунке) оценочной кривой (сплошная на рисунке) снизу вверх и продажа актива при пересечении сверху вниз.

2. Также на рисунке видно, что пересечения графиков происходит только в момент изменения направления движения (тренда) оценки $\lambda(t)$. Таким образом, в идеальном случае, если предположить, что сделку можно совершать точно в момент пересечения графиков, то каждая сделка является как минимум безубыточной. Для акций Газпрома игра по данной стратегии принесла бы приблизительно 29 % чистой прибыли за два года, в то время как реальное изменение цены акций за исследуемый период составило около 6,9 %. Реализация

идеальной стратегии возможна с использованием высокочастотных роботов [7].

3. Для реальных условий совершения сделок на следующий день после пересечения графиков и с учетом брокерского вознаграждения игра по данной стратегии принесла бы приблизительно 12,3 % чистой прибыли за два года, что практически в два раза больше реального изменения цены акций.

4. Создание торгового робота определяющего точку пересечения графиков оценки марковского случайного процесса $\lambda(t)$ на выходе фильтра и графика исходного случайного процесса изменения цены в реальном времени позволит увеличить прибыльность стратегии. В настоящее время торговая стратегия с использованием фильтра, основанного на нелинейной Марковской фильтрации, проходит тестирование на реальном торговом счете биржи ММВБ.

5. Возникает необходимость разрешить задачу о приближении реальных условий совершения сделок к идеальным. Для этого необходимо установить фрактальные свойства рынков и предельные возможности использования высокочастотных торговых роботов и алгоритмов.

Список использованных источников

1. Бернхем Т. Подлые рынки и мозг ящера / пер. с англ. М.: Альпина Паблицер, 2012.
2. Тихонов В. И., Кульман Н. К. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов. М.: Советское радио, 1975.
3. Литтл Дж., Роудс Л. Уолл-стрит. Как работает фондовый рынок / пер. с англ. В. Н. Егорова. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2006.
4. Кац Д. О., Маккормик Д. Л. Энциклопедия торговых стратегий / пер. с англ. М.: Альпина Паблицер, 2002.
5. Первачев С. В. Радиоавтоматика : учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1982.
6. Корчагин Ю. А., Маличенко И. П. Инвестиции: теория и практика. Ростов н/Д: Феникс, 2008.
7. Вержбицкий А. Исполнитель алгоритмов // Forbes. 2014. № 8 (125).
8. Акелис С. Б. Технический анализ от А до Я / пер. с англ. М.: Диаграмма, 1999.
9. Ковел М. Черепахи-трейдеры / пер. с англ. СПб.: Питер, 2011.
10. Карнелиус Л. Применение технического анализа / пер. с англ. К. Г. Горшкова. М.: ИД «ЕВРО», 2012.
11. Стратонович Р. Л. Условные процессы Маркова // Теория вероятностей и ее применения. 1960. Т. 5. № 2.
12. Youla D. C. The use of the method of maximum likelihood in estimating con-

- tinnuos-modulated intelligence which has been corrupted by noise // IRE Trans. on Information Theory. 1954. IT-3.
13. Thomas J., Williams T., Wolf J. The demodulation of AM signal in noise // Proceedings of 3-d National convention of Military Electronics, 1959.
 14. Viterby A. J. Optimum coherent demodulation for continuous modulation systems // Proceedings of the National electronics conference. 1962. Vol. 18.
 15. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. 1-е изд. М., 2007. 288 с.
 16. Дэбни Дж., Харман Т. Simulink 4. Секреты мастерства. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2003. 404 с.
 17. Гандер В., Гржебичек И. Решение задач в научных вычислениях с применением Maple и MATLAB. М.: Вассамедина, 2005. 520 с.
 18. Бурлачков В.К. Внешнеэкономическая деятельность в глобальной экономике. М.: Изд. дом «АТИСО», 2009. 639 с.
 19. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике. М.: ИД «ЕВРО», 2004.

Sokolov R.I., post-graduate student,
Ural Federal University
named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia

FILTRATION OF RANDOM COMPONENT ASSET PRICE BY METHOD OF MARKOV FILTRATION

Existing methods of technical analysis is the empirical essence of speculation. Their effectiveness is only confirmed with the methods of mathematical statistics. In fact, technical analysis methods can improve the probability of the conclusion of profitable trades. Thus, there is a need to create a handler function of price changes to filter out the random component and the deterministic component separation in order to isolate the point of a trend change and optimizing the time point of opening and closing positions. As a solution to this problem a stochastic handler function has been developed that determines the change in the price of an asset with the method of the Markov theory of nonlinear filtering. Evaluating the effectiveness of the synthesized receiver was based on numerical modeling of processing the mixture of the deterministic signal and the white Gaussian noise. It is shown that the designed processor allows for filtering out the random component of the price of liquid shares traded on MICEX, with the aim of developing a profitable trader strategy. The resulting graph of Markov random process evaluation $\lambda(t)$ at the output of the filter periodically intersects the graph of the original random process. In this case, the intersection of graphs only occurs if the change of direction (trend) estimates $\lambda(t)$. Thus, in the ideal case, assuming that the transaction can be performed precisely at the time of intersection of the graphs, each transaction is at least break even. The article poses the problem of closing the gap between real conditions of the transactions and ideal ones. To do this, one must solve the problem of the fractal properties of markets and limit the possibilities of using high-frequency trading robots and algorithms.

Key words: nonlinear Markov filtering, stochastic processing functions, detecting a trend of stocks, trader strategy, high-frequency algorithms, fractal market, technical analysis, numerical modeling, entry point.

References

1. Burnham, T. (2008). *Mean Markets and Lizard Brains: How to Profit from the New Science of Irrationality*. New York, Wiley, 324. (Russ. ed.: Bernkhem T. (2012). *Podlye rynki i mozg iashchera*. Moscow, Alpina Publisher, 400).
2. Tikhonov, V.I., Kul'man, N.K. *Nelineinaia fil'tratsiia i kvazikogerentnyi priem signalov [Nonlinear filtration and quasi-coherent reception of signals]*. Moscow, Sovetskoe Radio Publ., 704.
3. Little, J.B., Rhodes, L. (2004). *Understanding Wall Street*. New York, McGraw-Hill, 304 (Russ. ed.: Littl, Dzh., Rouds, L. (2006). *Uoll-strit. Kak rabotaet fondovyi ryok*. Moscow, FAIR-PRESS, 336).
4. Katz, J.O., McCormick, D.L. (2000). *The Encyclopedia of Trading Strategies*. New York, McGraw-Hill, 376 (Russ. ed.: Kats, D.O., Makkormik, D.L. (2007). *Entsiklopediia torgovykh strategii*. Moscow, Alpina-Publisher, 392).
5. Pervachev, S.V. (1982). *Radioavtomatika [Radio automatics]*. Moscow, Radio i sviaz', 296.
6. Korchagin, Iu.A., Malichenko, I.P. (2008). *Investitsii: teoriia i praktika [Investment: Theory and practice]*. Rostov-na-Donu, Feniks Publ., 512.
7. Verzhbitskii, A. (2014). Iсполnitel' algoritmov [Executor of algorithms]. *Forbes*, No. 8 (125).
8. Achelis, S. (2013). *Technical Analysis from A to Z*. New York, McGraw-Hill, 400 (Russ. ed.: Akelis, S.B. (1999). *Tekhnicheskii analiz ot A do Ia*. Moscow, Diagramma Publ., 624 p).
9. Covel, M. (2007). *The Complete Turtle Trader*. New York, Collins, 251 (Russ. ed.: Kovel, M. (2009). *Cherepakhi-treidery*. St Petersburg, Piter Publ., 283).
10. Cornelius, L. (2004). *Technical Analysis Applications*. New York, McGraw-Hill, 329 (Russ. ed.: Kornelius, L. (2012). *Primenenie tekhnicheskogo analiza*. Moscow, EVRO Publ.).
11. Stratonovich, R.L. (1960). Uslovnyye protsessy Markova [Conditional Markov processes]. *Teoriia veroiatnostei i ee primeneniia [Probability Theory and its Applications]*, Vol. 5, No. 2.
12. Youla, D.C. (1954). The use of the method of maximum likelihood in estimating continuous-modulated intelligence which has been corrupted by noise. *IRE Trans. on Information Theory*. IT-3.
13. Thomas, J., Williams, T., Wolf, J. (1959). The demodulation of AM signal in noise. *Proceedings of 3-d National convention of Military Electronics*.
14. Viterby, A.J. (1962). Optimum coherent demodulation for continuous modulation systems. *Proceedings of the National electronics conference*, Vol. 18.
15. Chernykh, I.V. (2011). *Modelirovanie elektrotekhnicheskikh ustroystv v MATLAB, SimPowerSystems I Simulink [Modeling of electrical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink]*. Moscow, DMK Press, 288.
16. Dabney, J., Harman, T. (2003). *Mastering Simulink*. New Jersey, Prentice Hall, 400 (Russ. ed.: Debni, Dzh., Kharman, T. (2003). *Simulink 4. Sekrety masterstva*. Moscow, Binom Publ., 404).
17. Gander, W., Hrebicek, J. (2001). *Solving Problems in Scientific Computing Using Maple and MATLAB*. New York, Springer. 432 (Russ. ed.: Gander, V., Grzhebichek, I. (2005). *Reshenie zadach v nauchnykh vychisleniiakh s primenieniem Maple i MATLAB*. Moscow, Vassamedina, 520).
18. Burlachkov, V.K. (2009). *Vneshneekonomicheskaiia deiatel'nost' v global'noi ekonomike [Foreign economic activity in a global economy]*. Moscow, ATISO Publ., 639.

19. Peters E. (1994). *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*. New York, Wiley, 336 (Russ. ed.: Peters, E. (2004). *Fraktal'nyi analiz finansovykh rynkov. Primenenie teorii Khaosa v investitsiakh i ekonomike*. Moscow, EVRO Publ., 304).

Information about the authors

Sokolov Rostislav Igorevich – Post-Graduate Student, Institute of Radioelectronics and Informational Technologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); e-mail: rostik-king@yandex.ru.