Павлов С.В, Слюсарчук В.Ф. Эпистемологические хааровские модели наблюдений свойств сложных объектов // Вестник университетского комплекса: Сб. науч. трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко; Красноярск: ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ. – 2005. – Вып. 5(19). с. 65–80

УДК 62-506.1

ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕКСИЕ ХААРОВСКИЕ МОДЕЛИ НАБЛЮДЕНИЙ СВОЙСТВ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

С.В. Павлов, В.Ф. Слюсарчук
Красноярский государственный технический университет
Красноярский филиал НГОУ «Институт управления и экономики»
(г. Санкт-Петербург)
660074, Красноярск, а/я 16839
sergey-pavlov@rambler.ru, bigslesar@mail.ru

Эпистемология или теория познания – раздел **философии**, в котором изучаются **природа** и сфера **распространения знания**, его предпосылки и основы, а также критерии **истинности** знания

Философская энциклопедия (взято из [3])

Существует множество подходов к пониманию **сложности** [2, 3, 4]. В различных прикладных и теоретических областях науки такие подходы оказались конструктивными, но в течение последних десятилетий появляется все больше **задач**, переходящих в ранг **проблем**, в которых существующее понимание сложности оказывается не достаточным для достижения **цели**. В основном, это связано с тем, что **сложные объекты**, о которых пойдет речь в представляемой работе, качественно **не описываются** в рамках **всеобъемлющего** [2], **технологического** [3] и **физического** [4] аспектов сложности. **Сложные объекты** обладают и другими **специфическими** характеристиками, включающими в себя в различных комбинациях элементы из [2, 3, 4].

Под **объектом** будем понимать ч**асть** окружающего мира, воспринимаемую **нами** как **целое** («**целостное**», «**единое**»), четко или нечетко отделенную от всего остального в соответствии с личным или общим **интересом**, **желанием**, **намерением**, **целью**, **назначением**. **Объект** есть ни что иное, как некоторая **субъективная модель части наблюдаемого нами мира**, а **не** сама часть этого мира.

В настоящей работе под **сложными объектами** понимаются такие объекты, **специфическими** характеристиками которых являются:

⇒ **неравновесность**: сложные объекты функционируют («живут») преимущественно **вдали** от своих равновесных, балансовых, стационарных, устойчивых состояний;

⇒ **слабая степень формализуемости**: наличие **слабых** математических свойств в наблюдаемых данных;

⇒ **динамичность, развитие и эволюция**: сложные объекты «живут» не только в пространстве, но и во **времени**; с течением времени они переходят из одного состояния в другое; меняются параметры сложных объектов, а иногда и их структура;

⇒ **рефлексия**: «жизнь» сложных объектов существенно зависит от собственного «**прошлого**», что выражается в наличии принципа **обратной связи** (рис. 1) при формировании «**будущего**» сложных объектов; сложные объекты «реагируют» на «**изменения**»;

⇒ **многофакторность**: воздействие **группы существенных факторов** на все свойства сложных объектов (рис. 1), что проявляется во **взаимозависимости** (линейной, нелинейной) отдельных свойств сложных объектов [5];

⇒ **многомерная целостность**: сложный объект во всем многообразии своих свойств проявляет себя как **единый целостный объект**; наибольшей информативностью при работе со сложным объектом обладает именно **многомерный подход** – одновременное рассмотрение всех свойств (или, по крайней мере, групп свойств) сложного объекта в совокупности [5];

⇒ **конечность**: наблюдаемые данные **дискретны**; сложные объекты «**рождаются**» и «**умирают**»; наблюдения за сложными объектами осуществляются **конечным** образом, поскольку **дискретна** изначальная, первичная, исходная и естественная **природа** сложных объектов.

В работе полагается, что сложные объекты **доступны** только в виде **наблюдений информационного потока множества своих свойств** (рис. 1). Результатом такого **наблюдения** всегда является **система данных** (рис. 1) [3]. **Информация** о сложных объектах **инкапсулируется** именно в полученных **системах данных**.

Проектирование и реализация **информационных технологий** при работе со **сложными объектами** направлены на такие **наблюдения** и **операционные преобразования**, которые позволят наилучшим образом приблизиться к **цели** («**успеху**», «**желаемому состоянию**»). Формирование элементов таких информационных технологий и является **целевой функцией** настоящей работы.

При работе со **сложными объектами** имеющейся априорной информации, **методов** и **средств** может оказаться **не достаточно** для достижения **цели**, вследствие чего **задачи**, связанные со сложными объектами, переходят в класс **проблем**.

Проблемная сущность сложных объектов порождается на **высших** уровнях **системной иерархии** мета среды и выражается в перечисленных выше **специфических** характеристиках сложных объектов (**неравновесность**, …, **конечность**).

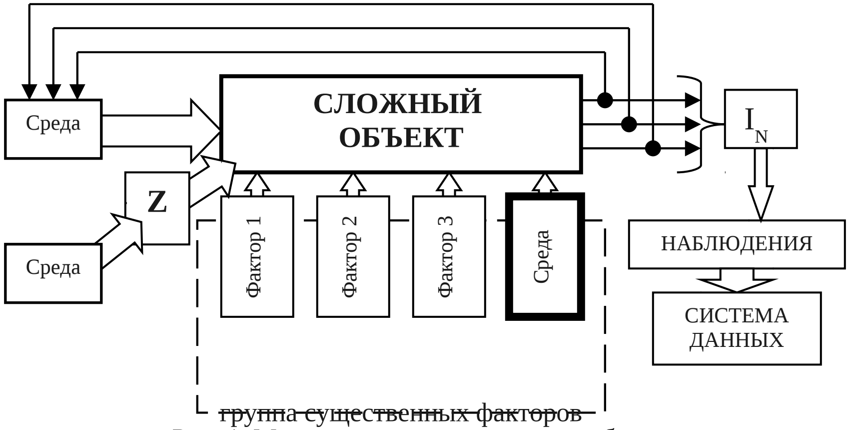

Рис. 1. Модель структуры сложного объекта
(**Z** – цель, определяемая средой (назначение),
I_N – информационный поток наблюдаемых свойств)

В модели структуры сложного объекта (рис. 1) **среда** присутствует в **трех** местах, что сделано намеренно, поскольку в этих местах среда играет различную **роль**:

⇒ непосредственное **входное воздействие**;

⇒ определение **внешней цели** (**назначения**);

⇒ воздействие в качестве **существенного фактора**.

В этой работе принято, что **наблюдения** за сложными объектами осуществляются по базе «**время**», а также то, что над полученной системой данных можно осуществить **упорядочивание** по времени. **Упорядоченные** по **времени** последовательности **наблюдений** отдельных свойств сложных объектов есть **временные ряды** или **траектории** «жизни» этих объектов (далее т**раектории**).

Авторы исходят из положения о том, что наблюдаемые свойства сложных объектов являются **наблюдаемой композицией детерминированных**, **стохастических**, **хаотических**, **периодических**, **эволюционных** и **поведенческих** составляющих, порождаемых, в общем случае, **наблюдаемыми** и **ненаблюдаемыми** факторами. В тоже время, сложный объект является компонентом **нижнего** уровня иерархии метаобъектов, наследующим **существенные** свойства **верхних** уровней иерархии (рис. 2) [3].

Следует отметить, что **эпистемологичекая системная иерархия** мета объектов (рис. 2) [3] **инкапсулируется** в полученных в результате наблюдений системах данных. Главным образом, это выражается в том, что **наблюдаемые траектории** содержат в себе (при длительном наблюдении, отражающем влияние факторов всех масштабных иерархических уровней) **композиции**

движений различных масштабов, которые различаются как по **степени** (**силе**) воздействия, так и **частоте** воздействия (рис. 3, 4, 5).

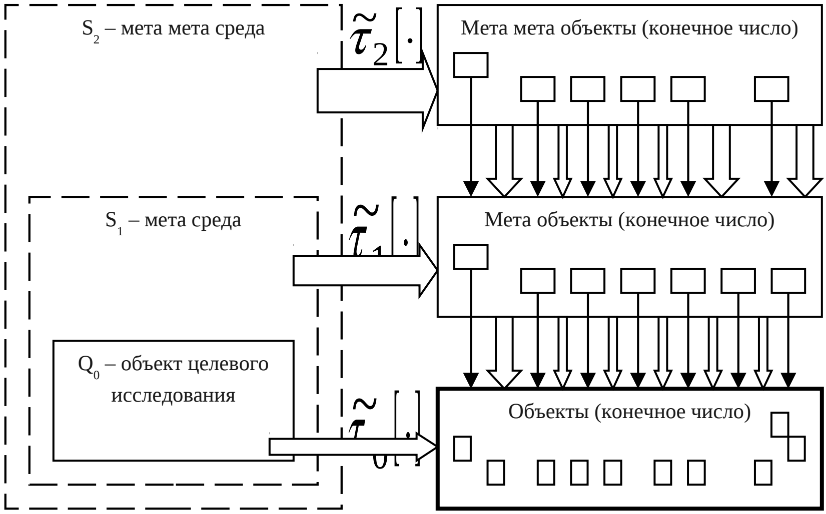

Рис. 2. Редукция иерархии мета сред к иерархии мета объектов
(– оператор редукции иерархического уровня)

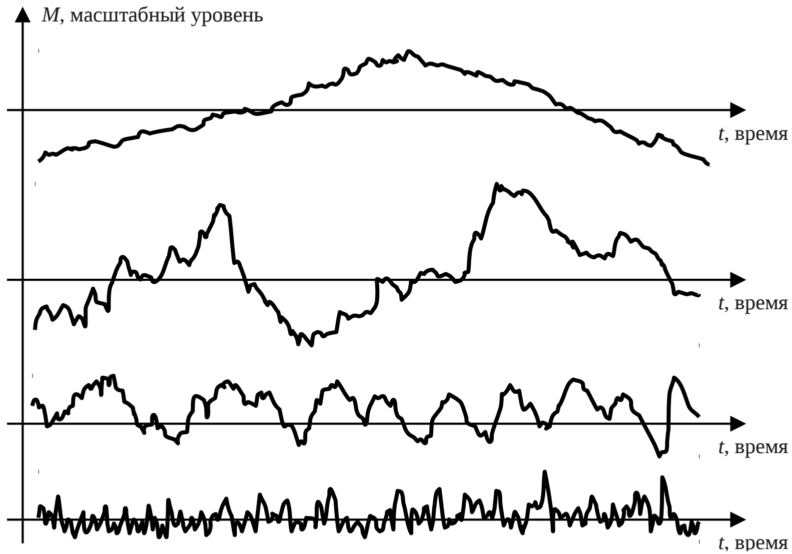

Рис. 3. Иерархия темпов изменений иерархических уровней для рис. 2 (преобразования масштабов для амплитудных и частотных характеристик приведены на рис. 4)

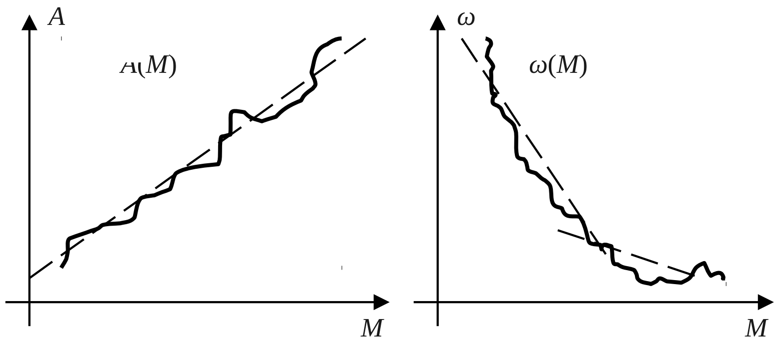

Рис. 4. Преобразования масштабов для рис. 3
(A – амплитудная (мощностная) характеристика,
ω – частотная характеристика,
, – положительные масштабные коэффициенты)

Траектории «жизни» сложных объектов, рассматриваемых в настоящей работе, обладают следующими **существенными** «**особенностями**»:

- ⇒ **разрывности** (скачкообразности): переходы между соседними (по времени) значениями могут осуществляться как угодно круто, вследствие чего говорить о гладкости и непрерывности в каком-либо приближении не корректно;
- ⇒ **разнопериодичности**: определенные явления и события повторяются, но в явном виде никаких гармонических периодичностей в динамике СО нет; разнопериодичности в явном виде не являются и квазипериодичностями;
- ⇒ **иерархические особенности траекторий**, проявляющиеся при **длительном** наблюдении.

Среди множества различных представлений наблюдаемых траекторий особое место по праву занимают методы, направленные на **разложение** наблюдаемых траекторий на **составляющие**. Рассмотрим разложение траекторий в **базисе ортогональных (нормированных) функций**.

Разложение наблюдаемых траекторий в ортогональном базисе. Система $\{f(j,x)\}$ вещественных и почти всюду отличных от нуля функций $f(0,x)$, $f(1,x)$, … называется ортогональной на интервале $x_0 < x < x_1$, если выполнено следующее условие:

$$\int_{x_0}^{x_1} f(j,x)\cdot f(k,x)dx = X_j \cdot \delta_{jk}\text{, где } \delta_{jk} = \begin{cases} 1 \text{ **при** } j = k, \\ 0 \text{ **при** } j \neq k. \end{cases} \qquad (1)$$

Функции $\{f(j,x)\}$ называются ортогональными и нормированными, если постоянная X_j равна 1. Ненормированная система ортогональных функций может быть всегда преобразована в нормированную систему. Например, если X_j

не равно 1, то нормированной является система функций $\left\{X_j^{-1/2} \cdot f(j,x)\right\}$. Функции ортогональной системы всегда являются линейно-независимыми.

Классическая теория разложения в ряд по ортогональным функциям часто оказывается без необходимости сложной, когда ее используют на практике. Пусть в реальных условиях при работе со сложными объектами имеется только траектория $x_0,\dots,x_{n-1}$. Для аппроксимации таких временных последовательностей используется система ортогональных функций $\{f(j,k)\}$, число которых равно n или меньше. Получаются приведенные ниже соотношения.

⇒ Ортогональность системы $\{f(j,k)\}$:

$$\sum_{k=0}^{n-1} f(j,k)\cdot f(h,k)=\delta_{jh}\,. \tag{2}$$

⇒ Разложение $x_1,\dots,x_n$ в ряд по ортогональной системе $\{f(j,k)\}$:

$$x_k=\sum_{j=0}^{n-1} a(j)\cdot f(j,k)\,. \tag{3}$$

⇒ Правило нахождения коэффициентов $a(j)$ или образа $x_0,\dots,x_{n-1}$ в области задания системы $\{f(j,k)\}$:

$$a(j)=\sum_{k=0}^{n-1} x_k\cdot f(j,k)\,. \tag{4}$$

«Такие понятия, как **сходимость**, **полнота**, **интеграл Лебега**, здесь **не нужны**» [7]. Требуется лишь, чтобы $x_0,\dots,x_{n-1}$ и все функции $\{f(j,k)\}$ принимали только **конечные** значения. Для осуществления разложения на практике **необходимы и достаточны** только условия (2) – (4).

Пусть функциями, образующими ортогональную систему и соответствующими «**особенностям**» траекторий «жизни» сложных объектов (**разрывности**, **разнопериодичности** и **иерархические** особенности), являются функции **Уолша** (рис. 5) [7], принимающие только **два** значения: +1 или –1.

Функции Уолша не могут быть в общем виде переведены в другие функции Уолша при помощи **поступательного сдвига**, **растяжения** или **сжатия**, тогда как любые синусоидальные функции могут быть образованы всего лишь одной синусоидальной функцией при помощи этих трех операций.

Сумма синусоидальных функций с одной и той же частотой, но с различными амплитудами и фазами равна синусоидальной функции с той же частотой; сложение функций Уолша происходит совершенно **иначе**.

Вместо времени $k=0,\dots,n-1$ введем нормированное время:

$$\theta=\frac{k}{n}-\frac{1}{2}\,,\ \text{тогда}\ -\frac{1}{2}\le\theta<\frac{1}{2}\,. \tag{5}$$

Функции Уолша wal(j, θ) определяются следующим разностным уравнением:

$$wal(2j+p,\theta)=(-1)^{\mathrm{int}\left[\frac{j}{2}\right]+p}\cdot\left\{wal[j,2(\theta+1/4)]+(-1)^{j+p}\cdot wal[j,2(\theta-1/4)]\right\}, \quad (6)$$

p = 0 или 1, j = 0, 1, 2, ….

$$wal(0,\theta)=\begin{cases}1\ \textbf{при}\ -\dfrac{1}{2}\le\theta<\dfrac{1}{2},\\ 0\ \textbf{при}\ \theta<-\dfrac{1}{2},\theta\ge+\dfrac{1}{2}.\end{cases} \quad (7)$$

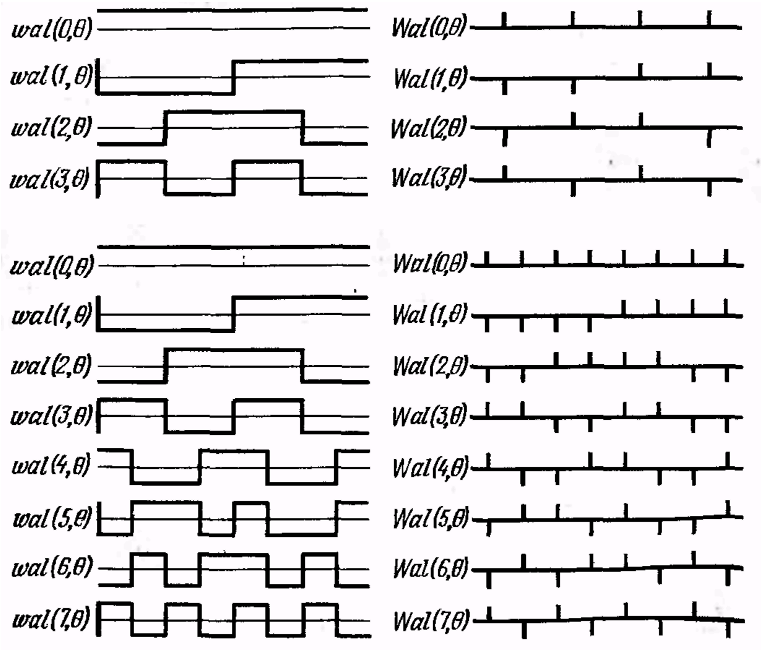

Рис. 5. Функции Уолша в двух представлениях:
непрерывном и дискретном

Для того чтобы пояснить разностное уравнение (6), рассмотрим функцию wal(j, θ). Функция wal(j, 2θ) имеет тот же вид, но отличается от wal(j, θ) тем, что она вложена со сжатием в интервал $-\frac{1}{4}\le\theta<\frac{1}{4}$. Функция wal[$j$, $2(\theta+1/4)$] получается путем сдвига функции wal(j, 2θ) влево в интервал $-\frac{1}{2}\le\theta<0$, а функция wal[j, $2(\theta-1/4)$] получается путем сдвига функции wal(j, 2θ) вправо в интервал $0\le\theta<\frac{1}{2}$.

Произведение двух функций Уолша равно другой функции Уолша:

$$\mathrm{wal}(h,\ \theta)\ \mathrm{wal}(k,\ \theta) = \mathrm{wal}(r,\ \theta), \qquad (8)$$

причем функция wal(r, θ) удовлетворяет разностному уравнению (6), а значение r равно сумме по модулю 2 чисел h и k:

$$\mathrm{wal}(h,\ \theta)\ \mathrm{wal}(k,\ \theta) = \mathrm{wal}(h \oplus k\ ,\ \theta), \qquad (9)$$

где знак $\oplus$ означает сложение по модулю 2, а k и h записываются в двоичном представлении, причем двоичные числа складываются поразрядно по правилу $0 \oplus 1 = 1 \oplus 0 = 1$, $0 \oplus 0 = 1 \oplus 1 = 0$.

Параметр j принято называть **секвентой** [7]. «По определению секвента равна числу **изменений** знака несинусоидальных функций за единицу времени. Типичным примером несинусоидальных функций являются функции **Уолша**, и **Хаара**» [Л.М. Сороко, 7, с. 5].

Конструктивным расширением функций Уолша являются функции **Хаара** [7], принимающие уже **три** значения: +1, 0 или –1, умноженные на степень числа $\sqrt{2}$. На рис. 6 приведены первые несколько функций Хаара. Функции har(0, 0, θ) и har(0, 1, θ) совпадают с первыми двумя функциями Уолша wal(0, θ) и wal(1, θ). Если функцию har(0, 1, θ) сжать вдвое на половинном интервале, а затем сдвинуть, то получаются функции Хаара har(1, 1, θ) и har(1, 2, θ). Каждая новая функция Хаара возникает в результате нового **сжатия** и **сдвига** (анализ, основанный на таком принципе формирования базисных функций, принято называть вейвлет-анализом [1]).

Разложим (умозрительно) в ряд по функциям Хаара траекторию $x_0, \ldots, x_{n-1}$, заданную нормированным временем на интервале $-\frac{1}{2} \le \theta < \frac{1}{2}$. Коэффициенты разложения первых двух функций har(0, 0, θ) и har(0, 1, θ) зависят от всех значений траектории $x_0, \ldots, x_{n-1}$. Между тем, коэффициенты разложения, определяемые остальными функциями Хаара, зависят только от части значений временного ряда $x_0, \ldots, x_{n-1}$: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, …. Такие функции помогают представить определенные **локальные** особенности траектории $x_0, \ldots, x_{n-1}$ и поэтому их называют **локальными**; тогда как функции har(0, 0, θ) и har(0, 1, θ) называют **глобальными**. Эта особенность функций Хаара имеет определенный интерес для прикладных целей, так как часто желательно получить хорошее представление только определенных частей наблюдаемой траектории (исследовать ее на отдельных участках с различной **разрешающей способностью**).

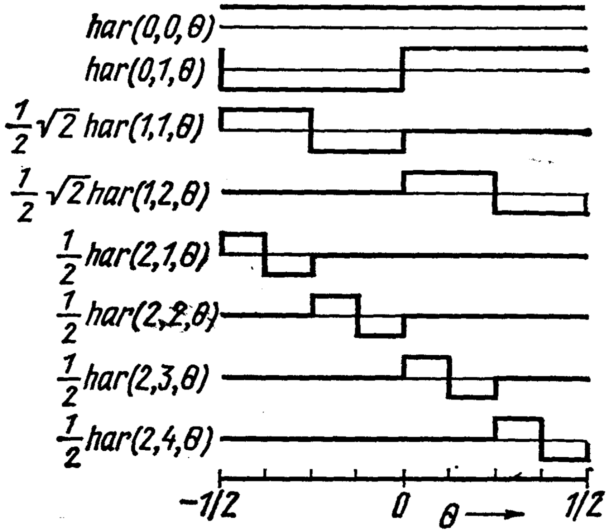

Рис. 6. Функции Хаара har(J, j, θ)

В отличие от системы функций Уолша, которая состоит только из глобальных функций, система функций Хаара на рис. 6 содержит всего лишь две глобальные функции. Можно построить другие системы функций Хаара, которые занимают промежуточное положение между этими крайними системами функций. На рис. 7 показана система функций Хаара, построенная при помощи первых четырех функций Уолша. Хааровский процесс сжатия вдвое и сдвига полученных сжатых функций применяют к функциям her(2, θ) и her(3, θ); их знаки выбирают так, чтобы все функции были неотрицательными для +0.

Другой метод генерации систем функций, принимающих три значения, иллюстрируется рис. 8. Здесь также используются первые четыре функции Уолша. Хааровский процесс сжатия и сдвига применяют к трем функциям ter(1, θ), ter(2, θ) и ter(3, θ). Процесс сжатия, иллюстрируемый рис. 8, проводится путем подстановки 4θ вместо θ, тогда как на рис. 7 вместо θ было подставлено 2θ.

Алгоритмы построения новых систем функций, показанные на рис. 7 и 8, позволяют взять любые 2^n функции Уолша в качестве подсистемы функций с глобальным заполнением. Для локальных функций также имеется выбор. Так, например, при $2^n = 2^1$ существуют только функции Хаара на рис. 6. Для $2^n = 2^2$ имеем два класса функций, показанных на рис. 7 и 8. Для $2^n = 2^3$ процесс сжатия исходных функций проводят с различными подстановками: $\theta \to 2\theta$, $\theta \to 4\theta$ или $\theta \to 8\theta$ и т. д.

Заметим, что амплитуды функций на рис. 8 равны 0, ±1, ±2, ±4, ... Для сохранения нормировки необходимо функции, приведенные на рис. 6 и 7, умножить на $\sqrt{2}$.

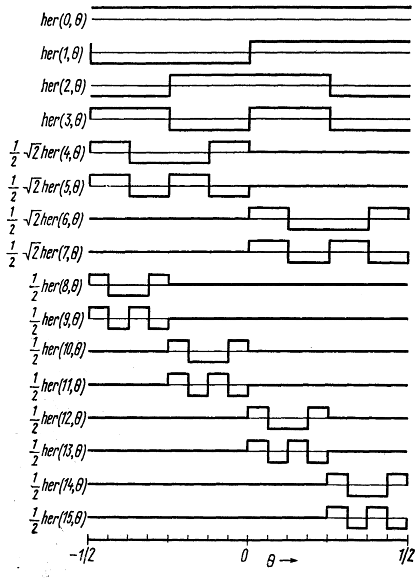

Рис. 7. Функции her(*j*,)

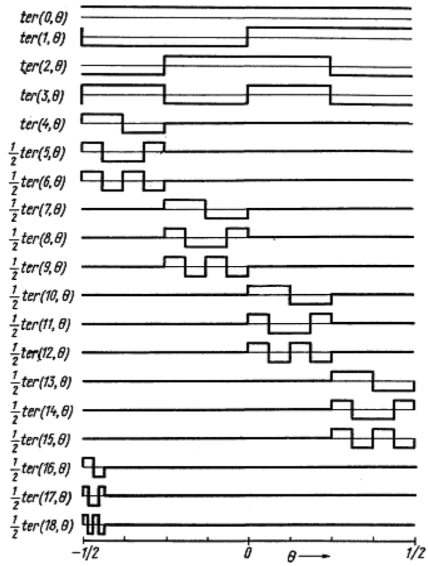

Рис. 8. Функции ter(*j*,)

Ограничениями рассматриваемого **секвентного вейвлет-анализа** наблюдаемых траекторий на основе разложений Уолша и Хаара являются требование на **длину** исходной траектории (которая должна являться целой степенью двойки) и **скорость вычислений** (которая является медленной в силу того, что функции Уолша и Хаара вычисляются разностным рекурсивным способом). Первое ограничение устраняется **обобщением** рассматриваемого определения прямоугольных функций на сложение по модулю 3, 4, …. Второе ограничение устраняется использованием **быстрых преобразований** Уолша-Фурье и Хаара-Фурье по аналогии с классическим быстрым преобразованием Фурье [7].

Рассмотрим практическое применение изложенных методов. В качестве сложного объекта выберем международный валютный рынок **Forex**, поскольку последний **легко доступен** в среде **Internet** и **наблюдаем** с **высокой разрешающей способностью**.

На рис. 10 хорошо видна «**ступенчатость**» («**прямоугольность**») наблюдаемой траектории (рис. 9) в секвентном Уолш-представлении.

Введем, по аналогии с Фурье-спектром мощности, **Уолш-спектр мощности наблюдаемой траектории**, определяемый как квадрат амплитуды соответствующих составляющих в Уолш-разложении (рис. 11, 12). Спектр

Уолша позволяет судить о наличии различных частотных (секвентных) составляющих траектории (рис. 12) по аналогии с Фурье спектром.

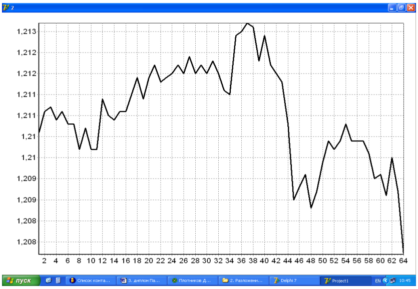

Рис. 9. Наблюдения траектории сложного объекта МВР Forex

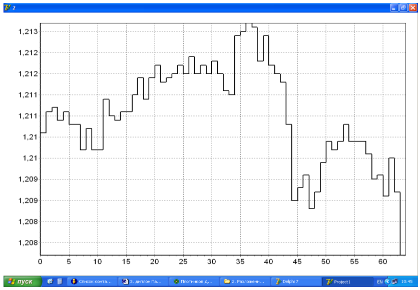

Рис. 10. Уолш-представление траектории, представленной на рис. 8

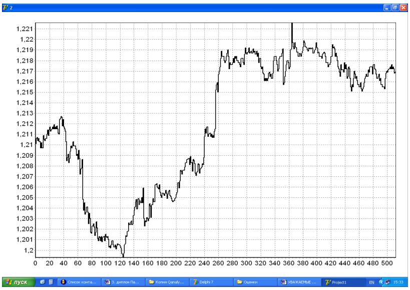

Рис. 11. Наблюдения траектории сложного объекта МВР Forex

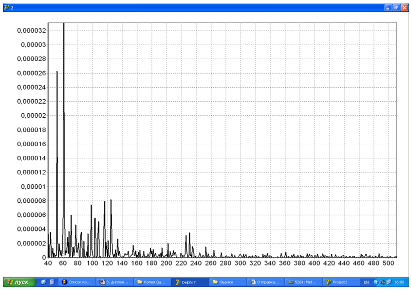

Рис. 12. Уолш-спектр мощности траектории, представленной на рис. 10

Итак, разложения наблюдаемых траекторий в базисе функций Хаара явным образом соответствуют «**особенностям**» **разрывностей** и **разнопериодичностей** траекторий. Более того, функции Хаара позволяют отразить иерархические «**особенности**» траекторий. Для этого введем понятие **Хааровского дерева**: всякому базису функций Хаара соответствует Хааровское дерево, в узлах (вершинах) которого находятся функции Уолша, соответствующих локальных участков траектории.

Хааровские деревья являются **когнитивными**, **визуальными**, **графо-семантическими** моделями представления базисов функций Хаара и, кроме того, Хааровские деревья – это **эпистемологические модели наблюдений** свойств сложных объектов.

Множество базисов функций Хаара и множество Хааровских деревьев **изоморфны**, т.к. каждому Хааровскому дереву соответствует только один базис функций Хаара, а каждый базис функций Хаара представляется только одним Хааровским деревом.

Параметрами **обобщенного эпистемологического Хааровского дерева** (рис. 13) являются:

⇒ *m* – параметр, определяющий количество глобальных функций Уолша, из которых будут сформированы локальные функции;

⇒ *p* – параметр, выделяющий функции Уолша (среди глобальных), которые будут использоваться для формирования оставшихся функций Хаара;

⇒ *k* – параметр, характеризующий разбиения выбранного локального участка (или, что то же самое, параметр, характеризующий замену времени (сжатие) $\theta \to k \cdot \theta$);

⇒ *q* – параметр, определяющий количество эпистемологических уровней обобщенного эпистемологического Хааровского дерева.

Таким образом, **Хааровское дерево** – это **эпистемологическая вейвлет-модель наблюдения свойства сложного объекта**, позволяющая оперировать структурой наблюдаемой траектории с различной **разрешающей способностью** на различных **локальных участках** траектории.

На основе обобщенного эпистемологического Хааровского дерева осуществим **классификацию** основных тривиальных Хааровских деревьев (табл. 1).

Использование Хааровских деревьев проиллюстрируем на примере **эпистемологической фильтрации** (определение которой будет дано ниже) наблюдаемой траектории (рис. 14, 15), представленной на рис. 11.

Под **фильтрацией** будем понимать «**частотную**» фильтрацию в смысле **сглаживания** исходных наблюдаемых траекторий и выделения в них **тенденций** различных масштабов посредством исключения различных секвентных компонент (Уолша и Хаара) из разложения траекторий. Определенная таким образом фильтрация означает **исключение** из **композиционной модели наблюдаемых траекторий** (о которой говорилось выше) **хаотической** и, возможно (что определяется степенью фильтрации, конкретными условиями задачи и пр.), **стохастической** составляющих (например, при исключении части Уолш-спектра старше 140-й составляющей на рис. 12).

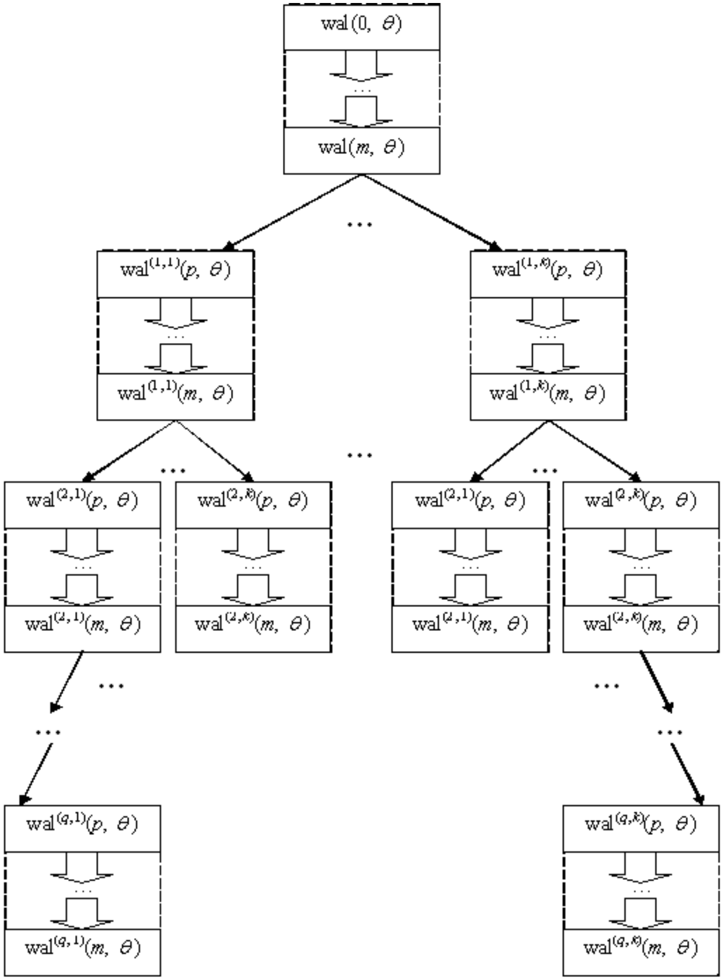

Рис. 13. Обобщенное эпистемологическое Хааровское дерево

Как отмечалось ранее, структура эпистемологической системной иерархии сложных объектов инкапсулируется в наблюдаемых системах данных при достаточно **длительном** (для того, чтобы отразить изменения факторов всех эпистемологических уровней) наблюдении. Тогда под **эпистемологической фильтрацией** наблюдаемой траектории будет пониматься такая фильтрация, при которой соответствие исходной и отфильтрованной траекторий **возрастает** с течением времени в направление к текущему моменту.

Таблица 1. Классификация тривиальных Хааровских деревьев (ХД)

Обозначение ХД	Название ХД	Описание ХД
FHT	*Полное Хааровское дерево*	Полному Хааровскому дереву соответствует исходный базис функций Хаара, т.е. в этом дереве присутствуют все «ветви» и узлы
BHT	*Бинарное Хааровское дерево*	Бинарное Хааровское дерево определяется тем, что из каждого узла такого дерева выходит две «ветви», из узлов которых выходят также две «ветви» и т.д.
LHT	*Левое Хааровское дерево*	Левое Хааровское дерево – это частный случай бинарного Хааровского дерева, у которого присутствуют только левые «ветви», а все правые «ветви» отсутствуют
RHT	*Правое Хааровское дерево*	Правое Хааровское дерево – это частный случай бинарного Хааровского дерева, у которого присутствуют только правые «ветви», а все левые «ветви» отсутствуют
SLHT	*Полу-левое Хааровское дерево*	Полу-левое Хааровское дерево – это частный случай бинарного Хааровского дерева, у которого присутствует только левая главная часть дерева, а вся правая главная часть отсутствует
SRHT	*Полу-правое Хааровское дерево*	Полу-правое Хааровское дерево – это частный случай бинарного Хааровского дерева, у которого присутствует только правая главная часть дерева, а вся левая главная часть отсутствует

В качестве примеров использования Хааровских деревьев рассмотрим эпистемологическую фильтрацию наблюдаемой траектории (рис. 11) в двух вариантах: эпистемологическая **RHT**-фильтрация (таб. 1) и модифицированная эпистемологическая **RHT**-фильтрация (рис. 14, 15 соответственно).

Таким образом, в представленной работе **конструктивно** синтезированы **системные представления** авторов о сложных объектах и **секвентные вейвлет-представления наблюдаемых траекторий**, а, именно, разложения в базисах функций Уолша и Хаара. Предложены **Хааровские деревья** в качестве **эпистемологических** моделей наблюдаемых траекторий. Изложенные методы позволяют синтезировать автоматизированные информационные технологии предложенной **эпистемологической фильтрации** наблюдаемых траекторий, что может использоваться при работе со **сложными объектами**.

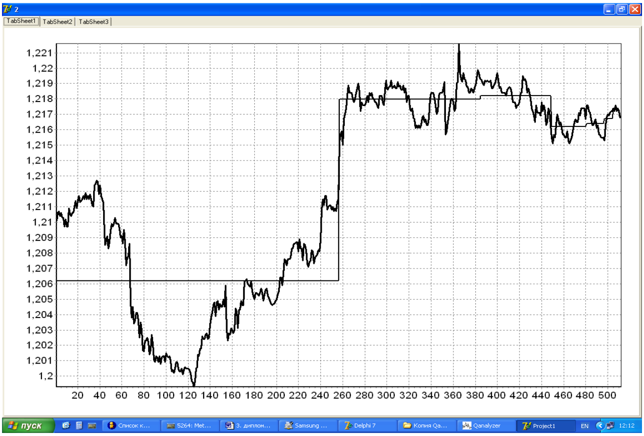

Рис. 14. Эпистемологическая **RHT**-фильтрация траектории, представленной на рис. 11

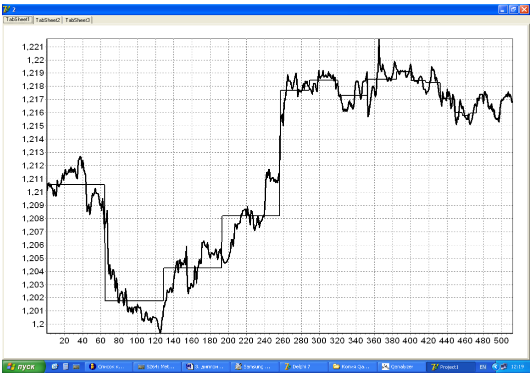

Рис. 15. Модифицированная эпистемологическая **RHT**-фильтрация траектории, представленной на рис. 11

Литература:

1. Добеши И. (2001). Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 464 с.
2. Касти Дж. (1982). Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. – Москва: «Мир», 216 с.
3. Клир Дж. (1990). Системология. Автоматизация решения системных задач. – Москва: «Радио и связь», 544 с.

4. Николис Г., Пригожин И. (2003). Познание сложного. – Москва: «Едиториал УРСС», 344 с.
5. Павлов С.В. (2005). Системологическое моделирование валютного рынка Forex в фазовом пространстве // Управление и экономика: теория и практика: Сб. науч. тр. № 1. Красноярск: «Гротеск», с. 308-315
6. Слюсарчук В.Ф. (2001). Конструктивная редукция иерархии сред к иерархии мета систем // Сб. науч. тр. КГТУ
7. Хармут Х. (1980). Теория секвентного анализа. Основы и применения. – Москва: «Мир», 576 с.