OSTIS-2011
(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.82: 519.179: 512.57: 515.14

СЕМИОТИКО-ХРОМАТИЧЕСКИЕ ГИПЕРТОПОСЕТИ: УНИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Баранович А.Е (*barae@rambler.ru*)
Российский государственный гуманитарный университет
Институт информационных наук и технологий безопасности,
Центр системного анализа и моделирования мышления,
Москва, Россия

В рамках концепции развития абстрактной модели k-гиперпространства семиотико-хроматических гúпертóпогрáфов ΓS как результата экспликации модели информационных форм существования материальных систем в модель-универсум декларативных знаний, предлагается её расширение до семиотико-хроматической k-гипертопосети, как универсальной модели динамики поведения сложных систем, поглощающей известные модели представления знаний как статического, так и динамического типа

Ключевые слова: гипертопографы семиотико-хроматические, гипертопосети семиотико-хроматические, обобщения теории графов, сети семантические

Введение

Предлагаемый материал ориентирован на исследование и обсуждение актуальных направлений синтеза и анализа *абстрактных моделей интеллектуальных систем, являющиеся инвариантами различных способов их реализации*, *унифицированной абстрактной модели семантической сети* и, в определенной мере*, формального уточнения понятия "семантическая сеть"*.

1. Некоторые терминологические замечания о сетях и графах

Как и предполагает преамбула, изложение начнем с аксиоматизации (уточнения, определения, интерпретации) используемого терминологического аппарата и, прежде всего, выражения *семантическая сеть*, с учетом его разложения на непосредственные составляющие ([Блумфилд, 1968]) «сеть» и «семантическая». Таким образом, мы определимся с априорной точкой исследования, а именно с используемой терминологией интересующей нас предметной области. Для этого предстоит ответить, хотя бы в первом приближении на казалось бы (в смысле ответов), очевидные вопросы: что есть *сеть* вообще и, что есть *сеть семантическая*?

Приведем ряд интерпретационных формулировок рассматриваемых терминов-понятий, а также первичных терминов, посредством которых производится дефиниция последних. К последним, безусловно, необходимо отнести понятия «граф» («гиперграф») и «семантика». Начнем с общедоступных энциклопедических источников.

В классической энциклопедии [БСЭ, 2002] статьи «Сеть» (в модельной интерпретации) и «Семантическая сеть (сеть семантическая)» - отсутствуют в принципе, впрочем, как и статьи «Граф» и «Гиперграф». Присутствует лишь - *Графов теория*, раздел *конечной математики*, особенностью которого является геометрический подход к изучению объектов. Основное понятие теории - *граф*. Граф задаётся множеством вершин (точек) и множеством рёбер (связей), соединяющих некоторые (а может быть, и все) пары вершин. При этом пары вершин могут соединяться несколькими ребрами …

В приведенной статье ни модель *сети*, ни модель *семантической сети* ни упоминаются.

Статья «семантика» весьма обширна, но связана, в абсолютизированном плане, лишь с лингвистическим анализом семантических атрибутов вербальной информации в языкознании (см. однако статью «Семантическая информация»):

Семантика (франц. *sémantique*, от греч. *semantikós* — обозначающий, *sema* — знак) в языкознании,

1) один из аспектов изучения знаков в *семиотике*.

2) В истории языкознания то же, что *семасиология*.

3) Значения единиц языка.

4) Раздел языкознания, изучающий значения единиц языка - языковедческая С.

В современном русскоязычном клоне Википедии (*Граф, Гиперграф, Семантическая сеть*, *Сеть, Теория графов* [Вики, 2010]) предлагается следущее.

Сеть - в принципе, то же, что и *граф*, хотя сетями обычно называют графы, *вершины которых* определённым образом *помечены*[1].

В общем смысле *граф* представляется как множество *вершин* (узлов), соединённых … множеством *рёбер*, являющихся подмножеством декартова квадрата множества вершин (то есть каждое ребро соединяет ровно две вершины). В строгом определении графом называется такая пара множеств[2] $G=(V,E)$, где V есть подмножество любого счётного множества, а E - подмножество $V \times V$ [3].

Гиперграф — совокупность из множества вершин и множества гиперрёбер (подмножество n-й евклидовой степени множества вершин, то есть гиперрёбра соединяют произвольное количество вершин).

В уточненной интерпретации (*выделенная статья*), *гиперграф́* — обобщённый вид графа, в котором каждым ребром могут соединяться не только две вершины, но и любые подмножества вершин. Гиперграф представляет собой пару $G=(V,E)$, где V - непустое множество объектов некоторой природы, называемых вершинами гиперграфа, а E - семейство непустых (необязательно различных) подмножеств множества V, называемых рёбрами гиперграфа.

Терминология теории графов *поныне не определена строго*[4]. В частности в монографии Гудман, Хидетниеми, 1981 сказано: «В программистском мире нет единого мнения о том, какой из двух терминов /использовать/ «граф» или «сеть». Мы выбрали термин «сеть», так как он, по-видимому, чаще встречается в прикладных областях» [Гудман и др., 1981].

... *Семанти́ческая сеть* определена как информационная модель предметной области, имеющая вид *ориентированного графа*, вершины которого соответствуют *объектам* предметной области, а дуги (рёбра) задают *отношения* между ними. Объектами могут быть понятия, события, свойства, процессы.

Понятия семантической сети записываются в овалах или прямоугольниках и соединяются стрелками с подписями - дугами[5]. Фактически …. (в логической интерпретации) каждая вершина соответствует элементу предметного множества, а дуга - предикату.

… Семантическая сеть является одним из способов представления знаний. В названии соединены термины из двух наук: семантика в языкознании изучает смысл единиц языка, а сеть в математике представляет собой разновидность графа — набора вершин, соединённых дугами (рёбрами). В семантической сети роль вершин выполняют понятия базы знаний, а дуги (причем направленные) задают отношения между ними. Таким образом, семантическая сеть отражает семантику предметной области в виде понятий и отношений[6].

В фундаментальном энциклопедическом труде [МЭ, 1985] приведены следующие дефиниции.

---

[1] Порядок изложения дефиниций из связанных статей [Вики, 2010] определен автором.

[2] Относительно использования знака « = « в формальном определении графа – см. далее.

[3] В предлагаемой дефиниции в графе (*простом графе*) допустимы петли типа (v,v), что, в общем-то, характеризует *псевдографы* классической *теории графов*.

[4] Индивидуальное мнение анонимных авторов цитируемой статьи.

[5] Де факто, *помеченный – взвешенный орграф* (ориентированный граф).

[6] Дополнение: в лингвистике *отношения* фиксируются в словарях и в тезаурусах. В словарях в определениях через род и видовое отличие родовое понятие занимает определённое место. В тезаурусах в статье каждого термина могут быть указаны все возможные его связи с другими родственными по теме терминами.

Сеть - обобщение понятия *графа,* С. задается парой вида (V, E), в которой V - некоторое множество, $\mathsf{E} = (E_0; E_1, E_2, \ldots)$ - семейство наборов элементов из V. В наборах $E_i \in \mathsf{E}$ элементы могут, вообще говоря, повторяться. Элементы множества V наз. *вершинами* С., элементы набора E_0 - *полюсами*[1] С., наборы E_i, $i = 1, 2, \ldots$ - *ребрами* С. В случае, когда множество полюсов пусто и каждый из наборов E_i является множеством, С. представляет собой *гиперграф*. Если каждый из наборов E_i, $i = 1, 2, \ldots$, содержит ровно два элемента, С. есть граф с выделенными полюсами. Часто под С. понимается граф (с полюсами или без них), элементам которого приписаны символы из некоторого множества. Напр., граф с полюсами, ребрам которого приписаны неотрицательные числа, называемые пропускными способностями, представляет собой транспортную сеть …

Семантика /в математической логике/ - исследование интерпретаций *логического исчисления,* формальной аксиоматической теории; изучение *смысла и значений* конструкций *формализованного языка теории*, способа понимания его логических связок и формул. С. уделяет внимание возможности точного описания и определения таких понятий, как «истина», «определимость», «обозначение», по крайней мере применительно к точно описанным языкам. В несколько более узком смысле под С. *формализованного языка* понимают систему соглашений, определяющих понимание формул языка, задающих условия истинности этих формул …

Построение четкой С. достаточно сложных формализованных языков типа языков *аксиоматической теории множеств* является трудной проблемой. Это связано но существу с тем, что процесс абстрагирования в математике является весьма сложным и многоступенчатым с привлечением таких глубоких и неочевидных абстракции, как *абстракция актуальной бесконечности* или *абстракция потенциальной осуществимости.* В результате объем объектов исследования в математике, способы обращения *с* этими объектами и способы доказательства утверждений относительно таких объектов, как множества произвольной природы, становятся весьма неопределенными… Часто семантические понятия для некоторого языка могут быть точно сформулированы в рамках более богатого языка, играющего для первого роль *метаязыка.* Например, средствами теории множеств можно дать строгое математическое определение (классической) истинности формулы данного языка 1-го порядка на алгебраической системе… С другой стороны, … для достаточно богатых теорий их истинность не может быть выражена на языке самой теории.

Словосочетание «Семантическая сеть», как и статья с настоящим названием в [МЭ, 1985] – не отмечены.

Граф - множество V *вершин* и набор E неупорядоченных и упорядоченных[2] пар вершин; обозначается Г. через $G(V, E)$. Неупорядоченная пара вершин наз. *ребром*, упорядоченная пара - *дугой*. Г., содержащий только ребра, наз. *неориентированны*м; Г., содержащий только дуги, - *ориентированным.* Пара вершин может соединяться двумя или более ребрами (дугами одного направления), такие ребра (дуги) наз. кратными. Дуга (или ребро) может начинаться и кончаться в одной и той же вершине, такая дуга (ребро) наз. петлей. (Иногда под Г. понимают Г. без петель и кратных ребер; тогда Г., в к-ром допускаются кратные ребра, наз. *мультиграфом*, а Г., в к-ром допускаются кратные ребра и петли, наз. *псевдографом*).

Гиперграф — обобщение понятия *графа*. Г. задается множеством V, элементы которого наз. вершинами, и семейством E подмножеств множества V, называемых ребрами Г.; Г. обозначается (V, E). Понятие Г. является вариантом давно известных понятий *комплекса, блок-схемы,* а также понятие *сети.*

Предметно-ориентированные и профессиональные источники предлагают следующие интерпретации рассматриваемых терминов-понятий. В частности, источник [ТСИИ, 1992]:

Граф - пара *(X, R)*, где *X* - множество, элементы которого *переименованы*[3] и называются *вершинами*; *R* - бинарное отношение, заданное на *X*. Если между вершинами $x_1 \in X$ и $x_2 \in X$

---

[1] См. также понятия «исток-сток» сети.

[2] В современной интерпретации *граф* (простой) определяется как *неориентированный*, соответственно, упомянутые пары вершин *apriori – неупорядочены*.

[3] Вероятно, *поименованы* или *перенумерованы*.

существует отношение R, то тройка $x_1 R x_2$ называется ребром Г. Если отношение R несимметрично, то $x_1 R x_2$ называется дугой Г. Г. с ребрами называется неориентированным, а с дугами - ориентированным.

Сеть - пятерка $H = \langle A, B, P, P_1, C \rangle$, где A - множество вершин, B - множество имен (весов) вершин; P - множество дуг, соединяющих пары вершин; P_1 - множество отмеченных входных и выходных дуг; C - множество имен (весов) дуг[1].

Семантика: 1. Один из аспектов семиотики. Рассматривает отношение знаков к обозначаемому (содержание знаков), независимо от того, кто служит адресатом знака. 2. Значение отдельных единиц знака. 3. Изучение отдельных единиц языка - языковедческая семантика, элементарным объектом изучения которой является единство трех объектов: означающего, означаемого и денотата. Означающее - внешний элемент (последовательность звуков или знаков), денотат - обозначаемый объект действительности и означаемое - отражение этого объекта в сознании человека.

Семантика ситуативная - приписывание некоторым объектам, хранящимся в базе знаний, некоторых характеристик в зависимости от ситуации, в которой эти объекты наблюдаются или используются. В системах понимания текстов на естественном языке С.С. связана с приписыванием различных значений лексемам в зависимости от того контекста, в котором они используются.

Сеть семантическая - сеть, в вершинах которой находятся информационные единицы, а дуги характеризуют отношения и связи между ними С.С. является наиболее общей моделью представления знаний.

Варианты *семантической сети* представлены *сетью ассоциативной* (отношения указывают на ассоциативные связи между вершинами), *сетью каузальной* (дуги характеризуют каузальные отношения), *сетью причинно-следственной* (отношения между вершинами трактуются как отношение «причина-следствие»), *сетью семантической интенсиональной* (отражает интенсиональные знания о предметной области; при фреймовом представлении соответствует фрейму-прототипу), *сетью семантической экстенсиональной (*отражает экстенсиональные знания о конкретной ситуации в предметной области ; при фреймовом представлении соответствует фрейму-экземпляру).

К моделям сетей, реализующих вполне определенные динамические процессы отнесены *сеть вывода* (структура, которая отображает последовательности применения правил вывода к исходным посылкам) и *сеть Петри* как модель для описания асинхронных параллельных и недетерминированных процессов, а также систем продукционного типа. Статически модель задается *двудольным орфографом*[2] с двумя типами вершин - позициями и переходами (изображаемыми обычно кружками и полочками соответственно), причем переходы (позиции) могут соединяться дугами только с позициями (переходами).

Классический источник по графам и сетям [Басакер и др., 1973]:

Сеть - связный ориентированный граф без петель.

Понятие «сеть» …/в теории графов – авт./ относится к случаям, когда кроме основных чисто структурных отношений в графе задаются некоторые количественные характеристики точек и линий, образующих граф.

При изучении потоков… ориентированные связанные графы, /*apriori* взвешенные по дугам – авт./ не имеющие петель … будут называться сетями.

Наиболее профессионально продвинутый, с нашей точки зрения, в области теории графов словарный источник [ТСГ, 1999] [3]:

Граф (неориентированный граф): 1. Пара *(V, E)*, где V - непустое множество объектов некоторой природы, называемых ***вершинами*** графа, а E - подмножество двухэлементных подмножеств множества *v*, называемых ***ребрами*** графа. Множества вершин и ребер графа G обозначают $V(G)$ и $E(G)$ соответственно. Если $|V(G)| = n$ и $|E(G)| = m$, то говорят о (n,m)-

[1] Из общей теории графов следует, что речь идет о поименованном (взвешенном) помеченном орграфе.

[2] Текст оригинала.

[3] Источник содержит, в частности, ссылки на более чем 170 используемых в теории и практике модификаций графов.

графе G. 2. Пара *(V, E)*, где V - множество *вершин* графа, а E - множество *ребер* - есть подмножество множества $V_-^2 / \sim$ классов эквивалентности, на которые множество $V_-^2 = \{(v,w) \mid v \neq w\}$ разбивается отношением эквивалентности: $(v_1,w_1) \sim (v_2,w_2) \Leftrightarrow (v_1,w_1) = (v_2,w_2)$. 3. Тройка *(V, E, P)*, где V - множество *вершин*, E - множество объектов некоторой природы, отличной от природы вершин, называемых *ребрами*, P - инцидентор[1], сопоставляющий с каждым ребром $e \in E$ пару *граничных вершин* v и w из V. 4. Общее название как для неориентированного, так и для ориентированного графов.

Сеть: 1. *Орграф*, в котором допускаются и петли, и кратные дуги и который используется как модель *системы*, *процесса*[2] и пр. Обычно в сети выделяются некоторые вершины - *полюсы* сети[3], играющие роль входов и выходов сети[4]. 2. В теории программирования сеть используется для описания статической топологии моделируемого процесса или системы и имеет вид двудольного орграфа (в общем случае бесконечного) с двумя типами вершин: *места* и *переходы*. На основе понятия сети вводятся динамические сетевые структуры, в которых местам приписываются специальные *разметки*, моделирующие выполнение условий, и с сетью связывается понятие ее функционирования, изменяющего эти разметки (условия) в результате так называемых *срабатываний переходов*. К таким динамическим сетям относятся *сети Петри*, их различные варианты, обобщения и частные случаи.

Семантическая сеть - средство для представления знаний в виде помеченного орграфа. Каждая вершина этого графа представляет собой понятие, или *концепт*, а каждая метка представляет связь между концептами. При выполнении процедур, связанных с доступом к концептам, а также изменением самих концептов и связей между ними, производится движение по этому графу и его обработка.

Сеть Петри - графическая модель системы с высокой степенью распараллеливания вычислений, используемая для анализа определенных ее свойств.

Известный источник [GC, 2010]:

Семантическая сеть - структура данных, состоящая из узлов, соответствующих понятиям, и связей, указывающих на взаимосвязи между узлами. Наиболее важными связями являются связи «Это-есть» (*Is-a*), позволяющие построить в семантической сети иерархию понятий, в которой узлы низких уровней наследуют свойства узлов более высоких уровней.

Сеть (Network) - взаимодействующая совокупность объектов, связанных друг с другом линиями связи.

Граф - формально - математический объект, заданный множеством вершин и набором упорядоченных или неупорядоченных пар вершин (ребер). Граф - неформально - схема, состоящая из точек и соединяющих эти точки отрезков прямых или кривых. Обычно графы используются для описания схем дорог, газопроводов, электросетей и т.п.[5]

Понятие *гиперграф* в [GC, 2010] - отсутствует.

Из источника [Чухарева, 2010]:

Семантическая сеть — это ориентированный граф, вершины которого - понятия, а дуги - отношения между ними.

Сеть - совокупность программных, технических и коммуникационных средств, обеспечивающих эффективное распределение вычислительных ресурсов.

E-сети (*evaluation* - «вычисления», «оценка») - «оценочные сети» (наиболее мощное расширение *аппарата* сетей Петри) … В *E*-сетях … имеются несколько типов вершин-позиций: простые позиции, позиции-очереди, разрешающие позиции; фишки (метки) могут снабжаться набором признаков (атрибутов); с каждым переходом может быть связана ненулевая задержка и функция преобразования атрибутов фишек; введены дополнительные виды вершин-переходов;

---

[1] 1. Предикат $P(v,w,e) = 1$ такой, что $P = 1$ тогда и только тогда, когда $e = (v,w)$. Используется, например, при задании графа списком его ребер, ставя в соответствие каждому ребру пару вершин - концов ребра. 2. Пара элементов (v,e) такая, что вершина v инцидентна ребру e.

[2] Весьма актуальная ссылка на априорно *динамический характер* модели сети.

[3] «Истоки – стоки» в исторической терминологии.

[4] Транспортная сеть - орграф, в котором выделены две вершины - вход и выход сети и для каждой дуги определена *пропускная способность*.

[5] Фактически, прагматическая интерпретация – транспортные сети и т.д.

в любую позицию может входить не более одной дуги и выходить также не более одной. В связи с этим любой переход может быть описан тройкой параметров: $d_J = (S, t(d_J), p(d_J))$, где: S - тип перехода, $t(d_J)$ - функция задержки, $p(d_J)$ - функция преобразования атрибутов. Важное отличие *E*-сетей от сетей Петри - метки интерпретируются как *транзакты, перемещающиеся по сети*, а вершины-переходы трактуются как устройства, выполняющие ту или иную обработку транзактов[1].

Источник [Илюшечкина и др., 2010] предлагает использовать … для формализованного представления и имитационного моделирования систем распределенной обработки информации … класс *обобщенных E*-сетей. *E*-сети, также как и классические сети Петри, представляют *универсальную алгоритмическую систему*, но при этом они позволяют эффективно выражать не только динамику и взаимодействие параллельных процессов, но также и управление перемещением фишек в зависимости от состояния памяти сети, временные задержки в переходах, а также разнообразные преобразования данных. По сравнению с обычными Е-сетями *обобщенные Е-сети* позволяют более компактно описывать модели и удобнее для графического ввода.

К важным приложениям сетевой парадигмы относятся искусственные *нейронные сети* (ИНС) [Вики, 2010] - математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей - сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы. ИНС представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов)… Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. Актуальность их упоминания характеризуется, в частности, направлением *Blue Brain Project* - проект по компьютерному моделированию неокортекса человека. В проекте задействован моделирующий аппарат ИНС и технический базис - суперкомпьютер Blue Gene. На текущий момент команда работает над «режимом реального времени», при котором 1 секунда реального времени работы мозга моделируется процессорами за 1 секунду[2].

Один из последних отечественных образовательных источников [Харитонова, 2006] трактует выделенные нами термины-понятия следующим образом:

Граф есть конечное множество *V*, называемое множеством вершин, и множество *E* двухэлементных подмножеств множества *V*. Множество *E* называется *множеством ребер*. Элемент множества *E* называется *ребром*. Граф обозначается *G*(*V*, *E*).

Степенью выхода вершины *v* называется количество ребер, для которых *v* является начальной вершиной, обозначается *outdeg(v)*.

Степенью входа вершины *v* называется количество ребер, для которых *v* является конечной вершиной, обозначается *indeg(u)*.

Если *indeg(v) = 0,* то вершина *v* называется *источником*. Если *outdeg(v)* = 0, то вершина *v* называется *стоком*.

Сеть – это ориентированный граф (*G, V, E*) вместе с весовой функцией $C: E \rightarrow N$ и выделенными вершинами a , z , такими что «*integ (a)* = 0 и *integ (z)* = 0» [3].

Вычленим из вышеприведенного перечня дефиниций их наиболее общие черты (классифицирующие свойства). В отношении термина «сеть» вполне определенно формируются два основных класса интерпретаций[4]:

1. *Статическая интерпретация* (модели системы), базирующаяся на теоретико-графовой парадигме. В данной интерпретации *сеть* есть *поименованный орграф с взвешенными дугами (и возможно вершинами)*. Упомянутые множества *полюсов (истоков-стоков) сети* тривиально интерпретируются подмножеством вершин графа, идентифицированных вполне определенным *свойством* (возможно, *значением свойства*) отдельных вершин.

[1] Классическая процедурная модель динамической системы сетевого типа.

[2] Исследователи не ставят перед собой задачей смоделировать сознание. «Если сознание появляется в результате критической массы взаимодействий - тогда, это может быть возможно. Но мы действительно /пока – авт./ не понимаем, что есть сознание, поэтому трудно об этом говорить».

[3] Очевидно, автор имел ввиду следующее: *indeg (a) = 0*, *outdeg*(*z*) *= 0*.

[4] В рамках использования рассматриваемого понятия в аспекте *системного моделирования*.

2. *Динамическая интерпретация*, когда *сеть* выступает в качестве модели динамических процессов существования (функционирования) системы (вещественных и/или информационных[1]). В данном аспекте, сеть отражает динамику преобразования моделей статических состояний систем (по п. 1) в некоторой выбранной модели дискретного времени (в частности, «квантованного времени» или «времени по наступлению события»).

Обе интерпретации используются достаточно свободно и в обыденном сознании практически равнозначимы. Однако являют собой пример классического *омонима*, вследствие *существенной* содержательной разницы (семантического различия) экстенсионалов понятий используемого термина. Появление же омонимов, особенно в аксиоматических базисах математического (теоретико-множественного) моделирования (в том числе, интеллектуальных систем) влечет лишь рост числа *парадоксов* в используемой аксиоматике [Баранович, 2007а, 2009, 2010а].

Результаты проведенного анализа аксиоматико-терминологического аппарата интересующей нас предметной области позволяют сформулировать следующие, возможно неожиданно радикальные для читателя, выводы:

1. Предлагается более четкая и жесткая дифференциация *теоретико-графовой интерпретации* понятия сети и её *динамической интерпретации*, где классу *теоретико-графовых моделей* (а)) отводится область моделирования статических состояний сложных систем, а *сети* (б)) отводится область моделирования их динамического функционирования.

Естественно, что в любой модели дискретного времени интерпретация а) будет представлять собой некоторую частную проекцию *сети* (интерпретация б)) на выделенное состояние («текущее настоящее») динамической модели сложных систем.

2. Говоря об отдельных, различимых типах представителей семейства графов, заметим, что отмеченное нами число типов превышает 180 (от «*антисимметрического*» графа до «*эйлерова*») [ТСГ, 1999]. Поэтому введение нового термина - «*семантический граф*» (более содержательно – «*семантический гиперграф*», с учетом произвольной *–арности* отношений), не отмеченного в использованных источниках, не сильно изменит общую картину классификации, не уступая в «изящности», например, термину «концептуальный граф».

Более того, использование понятия *сети* как поименованного графа со взвешенными дугами (и возможно вершинами) есть просто введение нового *синонима* в терминологический аппарат предметной области.

3. Вышеприведенные рассуждения пп. 1-2 о *статической модели* семантических структур в рамках теоретико-графовой парадигмы опираются на введенный и успешно используемый с конца 90-х гг. XX в. аппарат хроматических (семиотико-хроматических) графов (СХ-графов) [Баранович, 1995б, 1997, 1998, 2002, 2003, 2006а].

СХ-графы (гиперграфы) поглощают все упомянутые (известные) типы графов, включая *семантические сети* (в существующей интерпретации). Имена и веса элементов модели (вершины – ребра - гиперребра), направления ребер (дуги), идентификаторы полюсов (истоков-стоков) как подмножества множества вершин графа-гиперграфа однозначным образом характеризуются *цветами*[2] (атрибутами) элементов и их *значениями*[3].

4. Под *сетью* же мы будем понимать переменную *структуру*, *моделирующую динамику поведения* сложной системы, характеризуемого как информацией о её текущих (статических) состояниях (в рамках теоретико-графовой парадигмы), так и механизмами их операционного преобразования в период существования системы.

2. К-гиперпространство семиотико-хроматических гипертопографов

Большинство используемых в настоящее время моделей представления знаний базируются на вербальной характеризации и интерпретации знаний в интеллектуальных системах (ИС). В свою очередь, искусственные нейронные сети, их производные и аналоги (как модели функционирования нейронной структуры биологического мозга), в первоначальном, историческом контексте ориентировались на моделирование отдельных компонент сенсориума ИС и распознавание, в частности, оптических образов (в том числе, с самообучением). Исследование

---

[1] Например, вычислительных.

[2] Греч. – *χρώμα* ....

[3] «Четкими» или «нечеткими» - по заказу пользователя.

процессов функционирования интегрированных ИС, в частности, в отношении проблемы измеримости семантико-аксиологических характеристик прагматической информации в ИС показало [Баранович, 1997, 2002], что одним из важных элементов ее решения является синтез универсальной модели всех взаимосвязанных информационных компонент ИС в динамике ее существования. Различные экспликации (проекции) модели-универсума должны обеспечить моделирование и сенсориума, и подсистем знаний и коммуникации, и пространство целей, и объектов внешней среды, их свойств и отношений.

В основу концепции синтеза модели-универсума информации (И.) [Баранович, 1995а, 2001, 2002, 2003, 2010в], характеризующей и отображающей основные свойства информационной организации и взаимодействия произвольных материальных систем (МС) объективной реальности (ОР) положен тезис о вторичности языка (как основы сигнально-семиотической коммуникации антропоморфных ИС) и его формальных моделей по отношению к первично-гомоморфным проективно-сенсорным и семантико-образным моделям информации в подсистемах знаний ИС. Ключевые элементы предлагаемого подхода к синтезу модели И. базируются на совокупности принципов, изложенных и обоснованных в [Баранович, 2002; Баранович и др., 2006б] и информационно-эволюционном подходе к системному анализу и моделированию сложных систем [Баранович, 2010б].

Абстрактной экспликацией модели-универсума И. в контексте представления и моделирования знаний является *k-гиперпространство семиотико-хроматических ги́пертóпогрáфов* Γs. Термины «гипертопограф» и его модификация «семиотико-хроматический гипертопограф» были впервые введены в 1998 г. для номинации топологической теоретико-графовой модели, расширяющей и обобщающей понятия «граф» и «гиперграф» [Баранович, 1998].

В работах [Berge, 1973; Зыков, 1974, 2004; Сачков, 1982; Капитонова Ю.В. и др., 2004] конечный граф («простой») $G=(V,E)$ упомянут как частный случай конечного гиперграфа $HG=(V,E_\eta)$[1], где V - основное множество (вершин) HG, $|V|=n$ и $E_\eta \equiv (E_1,\dots,E_m)$ - некоторое множество подмножеств V, $E_i \subseteq V$, $1 \le |E_i| \le |V|$, $E_i|=0 \Leftrightarrow E_i \equiv \varnothing$ $\forall i=\overline{1,m}$, $m \le 2^{|V|} < \infty$[2]. В свою очередь, гиперграф есть частный гипертопографа (монохромного, порядка топологизации 1) [Баранович, 1998, 2003, 2006а, 2007б].

Гипертопограф (с носителем V) HTG_V[3] есть двойка вида $(V_\tau, E_{\eta\tau})$, где $V_\tau \equiv \{v_\tau\}$ - есть некоторое подмножество элементов булеана B^V с носителем V, $|V|=n$, $V_\tau \subseteq \mathrm{B}^V$, $|V_\tau|=N \le 2^n$, и $E_{\eta\tau} \equiv \{e^k_{\eta\tau}\}$ - заданное множество подмножеств $e^k_{\eta\tau}$ множества V_τ, $e^k_{\eta\tau} \subseteq V_\tau$, различной мощности $|e^k_{\eta\tau}|=k$, $1 \le k \le N$, $e^k_{\eta\tau} \in V_\tau^{(k)}$, $|E_{\eta\tau}|=m$, $E_{\eta\tau} \subseteq \mathrm{B}^{V_\tau}$, $m \le 2^N \le 2^{2^n} < \infty$ $\triangleleft$

Хроматизация гипертопографа ($\eta\tau$-графа) множеством P, где P суть вполне определенное множество («цветов») с элементами $p \in P$, областями допустимых значений p - $\lambda(p)$ и выделенными i-ми значениями (в случае их существования) $\lambda_i(p) \in \lambda(p)$, есть процесс приписывания различных цветов из P элементам $HTG_V:(V_\tau, E_{\eta\tau})$, когда каждому элементу может быть поставлено в соответствие некоторое подмножество цветов из заданного множества P. Гипертопограф HTG_V, хроматизированный заданным множеством цветов, есть *хроматический $\eta\tau$-граф* (Х-$\eta\tau$-граф) $HTG_V x:(V_\tau, E_{\eta\tau}, P)$. Допустимое множество Х-$\eta\tau$-графов есть $\{HTG_V x\}$. Актуальная хроматизация информационных объектов проведена с использованием

---

[1] 1. *HG* – сокращ. от гиперграф (греч. *ηυπερ*... и ... *graf*). 2. Гиперграф есть двойка объектов. Соответственно, корректнее использовать обозначения $HG:<V, E_\eta>$ или $HG<V, E_\eta>$. Используемый в ряде работ знак «=» («равенство» как отношение эквивалентности на числовых множествах) исторически обусловленная неточность (неопределенность). Как и использование знаков «равенство» («=») вместо «тождество» («≡») при отождествлении / различении множеств (и их элементов) произвольной (нечисловой) природы.

[2] Для графа - $|E_i|=2$ $\forall i=\overline{1,m}$.

[3] *HTG* – сокращ. от гипертопограф (греч. *ηυπερ*..., *τοπος* и ... *graf*). В ином обозначении - $g_{\eta\tau}$.

эпикуровой характеризации МС посредством универсальных свойств ОР, «модели среды» Р. Бенерджи, аппарата «математической информатики» по А.Чечкину и концепции «информационной динамики» Н.Гладких (объекты-признаки). В рамках теории решеток и частично-упорядоченных множеств синтезирован ряд шкал свойств и дистрибутивных решеток понятий, в том числе объединенная базовая шкала частных, включая атомарные, свойств, и шкала УЭС (универсальных элементарных свойств) [Баранович, 2003].

Семиотизация Х-$\eta\tau$-*графов* (по Д.Поспелову), осуществляется путем конструктивного поименования как элементов порождающих его множеств, так и непосредственно Х-$\eta\tau$-графа как элемента множества $\{ HTG_V x \}$. В результате каждый атрибут модели r получает имя собственное - $\iota\ (r)$, реализуемое в аксиоматике Х-$\eta\tau$-графов «цветом: именем» - $\rho\iota$. Числовой Х-$\eta\tau$-граф при этом есть частный случай *семиотико-хроматического* (СХ-) $\eta\tau$-*графа*. Частными случаями СХ-$\eta\tau$-*графа* являются СХ-графы, СХ-гиперграфы, СХ-топографы и СХ-паратопографы [Баранович, 2003]. В свою очередь, частными случаями СХ-графов являются графы (помеченные, нумерованные, взвешенные, раскрашенные, вероятностные, *k*-дольные, семантические и т.п.), орграфы, мульти- и псевдографы, сети, *S*- и *П*-графы (семиотические) и т.д.

Семиотико-хроматическое k-гиперпространство СХ-$\eta\tau$*-графов* Γs есть допустимое множество семиотико-хроматических $\eta\tau$-*графов* $\{ HTG_V^k x \}$ уровня топологизации *k*, порождающие объекты представителей $HTG_V^k x : (V_\tau^k x, E_{\eta\tau}^k x, P_\tau^k\ ),\ HTG_V^k x \in \{ HTG_V^k x \}$, $V_\tau^k x \subseteq V_\tau^k \times P^{V_\tau^k}$, $E_{\eta\tau}^k x \subseteq E_{\eta\tau}^k \times P^{E_{\eta\tau}^k}$, $P_\tau^k \equiv P^{V_\tau^k} \bigcup P^{E_{\eta\tau}^k}$, которого, а именно V_τ^k и $E_{\eta\tau}^k$, есть элементы соответственно булеанов B_k^V и B_{k+1}^V *k*-го и $k+1$-го уровней топологизации множества-носителя *V*. Гипертопограф (монохромный) уровня топологизации k $HTG_V^k : (V_\tau^k , E_{\eta\tau}^k\ ),\ HTG_V^k \in \{Í\ TG_V^k\}$ есть *опорный* $\eta\tau$-*граф* *k*-го уровня топологизации *СХ*-$\eta\tau$-графа $HTG_V^k x$ [1] (см. рис. 1).

Синтез модели *монохромного* *k*-гиперпространства Γs^m проведен с использованием категорий «тождества / различия» по Г.Лейбницу и теоретико-множественной парадигмы Г.Кантора путем последовательной топологизации множества-носителя гипертопографа V в булеан B_k^V уровня топологизации k $(V \equiv \mathsf{B}_0^V \subset \mathsf{B}_1^V \subset \mathsf{B}_2^V \subset ... \subset \mathsf{B}_k^V\ )$[2]. Булеан B_k^V уровня топологизации *k*, есть результат последовательной *k*-топологизации *множества-носителя* $\eta\tau$-графа $V \equiv \mathsf{B}_0^V$, $|V| = n$, когда на очередном этапе топологизации $i+1$ в качестве исходных неделимых и различимых элементов множества, порождающих булеан B_{i+1}^V, выступают непустые элементы булеана B_i^V.

Показано, что для любого конечного уровня топологизации $k+1$ $(k \geq 0)$ совокупная мощность булеана B_{k+1}^V (с элементом $\varnothing$) есть величина $|\mathsf{B}_{k+1}^V| = 2^{2^{\cdot^{\cdot^{2^{|V|-1}}}-1}}\Big\}$ (k экземпляров 2 в показателе).

Модель *k*-гиперпространства Γs учитывает как особенности структуризации информационных объектов произвольного уровня вложенности, так произвольные свойства и отношения элементов исследуемых структур.

Термин «гиперпространство» задействован вследствие доказанного изоморфизма алгебр $\mathsf{A}_{\mathsf{B}_{k+1}^V} = < \mathsf{B}_{k+1}^V, (\bigcup, \bigcap\ ) >$ и $\mathsf{A}_{[GF(2)]^{|\mathsf{B}_k^V|}} = < [GF(2)]^{|\mathsf{B}_k^V|}, (\vee , \wedge\ ) >$, определенных относительно отображения $\varphi :\ X_i \to \vec{X}_i$, где X_i есть произвольный элемент булеана B_{k+1}^V (подмножество B_k^V) и $\vec{X}_i$ есть элемент булева *k*-гиперпространства $[GF(2)]^{|\mathsf{B}_k^V|}$ размерности $|\mathsf{B}_k^V|$, при биективном соответствии монохромного $G_{\eta\tau}^k \leftrightarrow \mathsf{B}_{k+1}^V \leftrightarrow [GF(2)]^{|\mathsf{B}_k^V|}$.

Развитие теории гипертопографов привело к обоснованию возможности и механизму представления двух- и более объектной (монохромной) теоретико-графовой модели *однообъектной*

---

[1] В ином обозначении - $g_{\eta\tau}^k x$.

[2] $V \equiv \mathsf{B}_0^V$ - искусственный прием для граничного случая.

(одноточечной) *моделью*, а именно представление гипертопографа HTG_V^k уровня топологизации k элементом (представителем) булеана B_{k+2}^V $k+2$ уровня топологизации множества-носителя V и далее элементом булева гиперпространства $[GF(2)]^{|\mathrm{B}_{k+1}^V|}$ [Баранович, 2003, 2009].

Введем следующие определения.

1. Пусть задан булеан первого порядка B_1^V некоторого вполне определенного множества V, $\mathrm{B}_1^V \equiv \{ b_{i_1}^V, \ldots, b_{i_{2^n}}^V \}$ (возможно линейно[1] упорядоченный в частном случае).

Тогда *гиперграф* HG_V (с носителем V) есть произвольное *подмножество* B_1^V ($HG_V \subseteq \mathrm{B}_1^V$)[2], включающее все его одноточечные представители, а именно множество V ($V \subseteq HG_V$)[3]. V есть *множество-носитель* гиперграфа HG_V или множество его *вершин*. Множество $E_\eta \equiv HG_V \setminus V$ есть множество *гиперребер* HG_V ◁

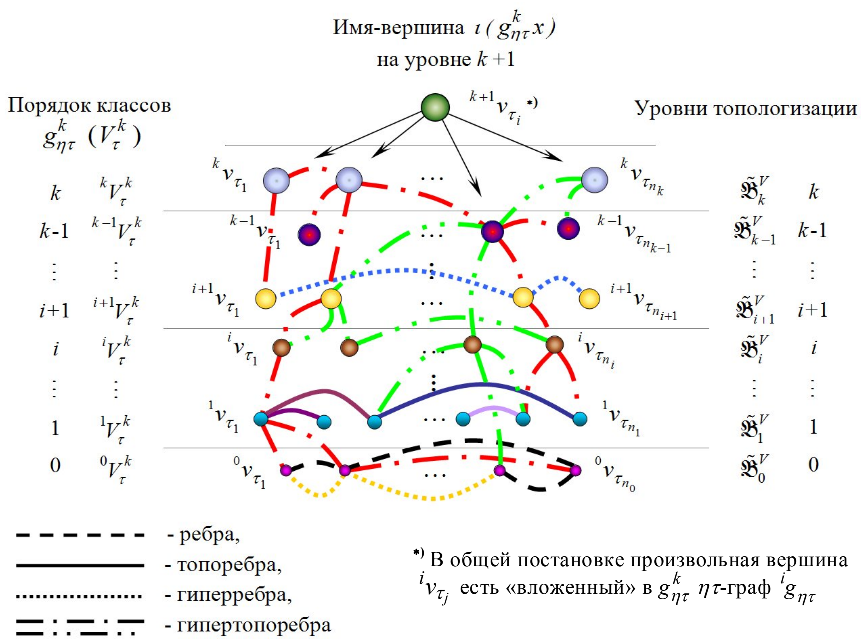

Рисунок 1. Графическая иллюстрация синтеза $\eta\tau$-графа в k-гиперпространстве Γs в иерархии порядка $HTG_V(g_{\eta\tau})$[4]

2. *Граф* (простой) G_V с носителем V есть гиперграф HG_V, в котором множество E_{HG} содержит лишь двухточечные представители B_1^V вида (v_i, v_j), $v_i \not\equiv v_j$[5] для любых $i \neq j$ ◁

Фактически очевидно, что вышеупомянутые варианты двух- и более объектной схемы определения гиперграфа парой (V, E_η) эквивалентны (тождественны) предлагаемой однообъектной

[1] Например, лексикографически.

[2] Заметим, что произвольное *подмножество* B_1^V есть одноточечный *элемент* булеана второго порядка B_2^V.

[3] Необходимое условие.

[4] Топоребра в *узком* смысле есть *ребра* на топомножествах, в *широком* смысле - *совокупности ребер* на топомножествах фиксированного уровня топологизации. Ребра как *частный случай* топоребер и гиперребер присущи только $\tilde{\mathrm{B}}_0^V$, в то время как топоребра - любым $\tilde{\mathrm{B}}_i^V$, $i = \overline{0,k}$. Гиперребра характеризуют произвольные подмножества элементов топомножеств ${}^iV_\tau^k$ фиксированного уровня топологизации i, гипертопоребра - произвольные подмножества элементов B_k^V, входящих в HTG_V^k (любого уровня топологизации $i = \overline{0,k}$).

[5] Принадлежащие $V^{(2)}$ и, неупорядоченные, по определению B_1^V.

HG_V (множество вполне определенного типа). Тоже относится и к классическим вариантам определения графа (*утверждение* 1).

Из предлагаемой схемы элементарным образом определяется мощность потенциального множества гиперграфов HG_V с носителем V. А именно $|\{HG_V\}| = 2^{2^n - n}$, где $|V| = n$ (*утверждение* 2).

Что касается произвольных гипертопографов HTG_V^k уровня топологизации *k,* то *однообъектная* схема их дефиниции сводится к следующему.

3. Пусть задан линейно упорядоченный булеан B_k^V *k*-го порядка топологизации $(k \geq 1)$ некоторого вполне определенного множества V, $\mathsf{B}_k^V \equiv \{\mathsf{b}_{i_1}^V, \ldots, \mathsf{b}_{i_N}^V\}$, $N = \left.2^{2^{\cdot^{\cdot^{2^{|V|}-1}}}-1}\right\}$ $(k-1$ экземпляров 2 в показателе).

Тогда *гипертопограф* HTG_V^k с носителем V уровня топологизации k есть произвольное *подмножество* булеана B_{k+1}^V $k+1$ уровня топологизации множества-носителя ($HTG_V^k \subseteq \mathsf{B}_{k+1}^V$)[1], где элементы HTG_V^k входящие в булеан B_k^V и не входящие в булеан B_{k+1}^V, т.е. не принадлежащие множеству $\mathsf{B}_{k+1}^V \backslash \mathsf{B}_k^V$, образуют множество его *топовершин* V_τ^k ($V_\tau^k \subseteq HTG_V^k \subseteq \mathsf{B}_k^V$, $V_\tau^k \not\subset \mathsf{B}_{k+1}^V \backslash \mathsf{B}_k^V$), а множество $E_{\eta\tau} \equiv HTG_V^k \backslash V_\tau^k$ - множество *гипертопоребер* HTG_V^k ⊲

Предложенная однообъектная схема позволяет весьма просто охарактеризовать системно-структурную сложность исследуемых теоретико-графовых моделей. Фактически под сравнительной *сложностью* произвольного гиперграфа HG_V с фиксированным носителем V, $|V| = n$ (инвариант на множестве $\{HG_V\}$) можно понимать его мощность $|HG_V|$ как подмножества B_1^V.

Модель *k*-гиперпространства вложенных СХ-*$\eta\tau$-графов* Γs поглощает все основные классы моделей представления декларативных знаний и посредством биективных алгоритмических процедур прямой и обратной редукции связана с семиотико-лингвистическими моделями последовательной коммуникации (по Дж. фон Нейману и К.Шеннону). Отношения порядка, определенные на Γs и, параметричность интервала топологизации позволяет синтезировать семейство моделей вложенных СХ-$\eta\tau$-графов, число уровней иерархии которых, определяется требованиями детализации и четкости в условиях ограничений («вычислимость») на их реализацию.

Введение ряда новых мер и метрик на элементах Γs (в развитие концепций А.Колмогорова, Н.Рашевского, У.Эшби, Ф.Хаусдорфа) проецирует синтезированную модель на область измеримых метрических гиперпространств, что позволяет свести задачи количественного анализа прагматических атрибутов информации, воспринимаемой и преобразуемой ИС, к исследованию свойств *k*-гиперпространства Γs. Обоснованный изоморфизм алгебр $\mathsf{A}_{\mathsf{B}_{k+1}^V}$ и $\mathsf{A}_{[GF(2)]^{|\mathsf{B}_k^V|}}$, в свою очередь, позволяет свести задачу исчисления метрик на Γs к исчислению метрик и весов Хэмминга на элементах булева *k*-гиперпространства $[GF(2)]^{|\mathsf{B}_k^V|}$.

3. От семиотико-хроматических гипертопографов к семиотико-хроматическим гипертопосетям

Разработанная модель *k*-гиперпространства СХ-$\eta\tau$-графов Γs априорно ориентирована на моделирование произвольных *статических состояний* сложных систем (их информационной составляющей), включая статические состояния *подсистем знаний интеллектуальных систем*. В качестве одного из ранее реализованных вариантов синтеза *динамической модели* знаний использовался *конечный метаавтомат* в модели времени «по наступления события», где множества входных и внутренних состояний автомата представляли собой вполне определенную алгебраическую *модель* ($\eta\tau$-графы). С общих аксиоматических позиций речь, фактически, шла

---

[1] Заметим, что произвольное *подмножество* B_{k+1}^V есть *элемент* («точка») булеана $k+2$ порядка B_{k+2}^V.

о синтезе вполне определенной *одноосновной метаалгебры* $\mathsf{A}_{\{HTG_V^k x\}} : < \{HTG_V^k x\}, \Psi_{\{HTG_V^k x\}} >$ с сигнатурой алгебраических операций $\Psi_{\{HTG_V^k x\}}$ обеспечивающих реализацию моделирования динамических процессов функционирования ИС.

Формальная модель целевого $HTG_V^k x$-метаавтомата (со входом) $\mathsf{A}_{HTG_V^k x}$ представима пятеркой объектов $< X, S, Y, \varphi, \psi >$, где $X = \{HTG_V^k x_i^x\}$, $S = \{HTG_V^k x_i^s\}$ и $Y = \{HTG_V^k x_i^y\}$, $\{HTG_V^k x_i^x\}$, $\{HTG_V^k x_i^s\}$, $\{HTG_V^k x_i^y\} \subseteq \{HTG_V^k x\}$ - конечные множества входов, внутренних состояний и выходов метаавтомата и φ и ψ - функции, соответственно, переходов и выхода, реализуемые в сигнатуре $\Psi_{HTG_V^k x}$: $\varphi(X \times S) \to S$, $\psi(X \times S) \to Y$ [Баранович, 1997, 2002, 2003; 2006а]. Для различных стратегий функционирования и процедур логического вывода, речь идет не об отдельных представителях функций φ и ψ, а о допустимых классах $\{\varphi\}$ и $\{\psi\}$, фактически определяющих внутреннюю логику функционирования метаавтомата и механизм реализации логического вывода ИС, представляющих в совокупности *модель аппарата мышления* ИС на уровне «сознания» [Баранович 2002, 2010б, 2010в, Хренников, 2004].

В целях корректности последующего изложения, напомним, что *алгебраической системой* (А.с.) называется объект $\boldsymbol{A} = \langle A, O, R \rangle$, состоящий из непустого *множества* A, *семейства* O *алгебраических операций* $o_i : A^{n_i} \to A\ (i \in I)$ и *семейства* R *отношений* $r_j \subseteq A^{m_j}\ (j \in J)$ заданных на множестве A. Показатели n_i, m_j рассматриваемых декартовых степеней множества A предполагаются целыми неотрицательными числами и наз. *арностями*[1] соответствующих операций и отношений. Множество A наз. *носителем*, или *основным множеством* А. с. $\boldsymbol{A}$, а его элементы - *элементами* этой системы [МЭ, 1985]. В интерпретации А.Мальцева [Мальцев, 1970] А.с. … есть объект $\mathsf{A} = \langle A, \Omega_F, \Omega_P \rangle$, состоящий из трех множеств: непустого *множества* A, *множества операций* $\Omega_F = \{F_0, ..., F_\xi, ...\}$, определенных на множестве A для каждого $\xi < \alpha$, и *множества предикатов* $\Omega_P = \{P_0, ..., P_\xi, ...\}$ заданных на множестве A для каждого $\eta < \beta$, причем арности рассматриваемых операций и предикатов должны удовлетворять условиям: $n(F_\xi) = m_\xi$ для всех $\xi < \alpha$ и $n(P_\eta) = n_\eta$ для всех $\eta < \beta$ (*n-арные предикаты* и *n-арные отношения* на произвольном множестве находятся *во взаимно однозначном соответствии*). Множество A называется *носителем* или *основным множеством* системы A, а его элементы - элементами системы A. Мощность $|A|$ множества A называется *мощностью* или *порядком* системы A и обозначается также $|\mathsf{A}|$. Алгебраическая система $\mathsf{A} = \langle A, \Omega \rangle$ называется *алгеброй*, если $\Omega_P = \varnothing$, и *моделью* (или реляционной системой), если $\Omega_F = \varnothing$.

Из приведенных определений следует, что *модель* (алгебраическая) характеризует статическую картину взаимосвязей (отношений) элементов моделируемой системы в «текущем настоящем» в модели дискретного времени «по наступлению события».

При моделировании динамики поведения систем статические состояния «текущего настоящего» системы начинают меняться (преобразовываться) последовательным образом согласно направлению *стрелы времени* [Баранович, 2010в]. Моделью преобразования статических состояний системы является *операция* (отображение «предследующего» состояния в «следующее»), заданная во вполне определенной аксиоматической парадигме дискретной математики. При выборе в качестве основного множества модели A - множества одноточечных элементов аксиоматики ZFC - ZFU, мы вправе синтезировать на $A^{(k)}$ вполне определенные

[1] Из вышеприведенных соображений однозначности интерпретации используемых терминов автором предложено и принято разделение понятия «– *арности*» алгебраических *операций* и «– *местности*» алгебраических *отношений* (см. также [Вики, 2010]).

k-арные ($1 \le k \le |A|$) *алгебраические операции*, т.е. сигнатуру O - Ω_F (в нашем обозначении - Ψ_A), породив, при этом, и соответствующую одноосновную *алгебру*.

Объединение выше перечисленных моделей статического состояния систем (алгебраическая *модель*) и модели изменений состояний модели в текущем настоящем (*алгебра*) и порождает, в итоге, динамическую модель *алгебраической системы*.

Нетрудно видеть, что вышеизложенный аппарат моделирования динамических систем с использованием формализма k-гиперпространства гипертопографов представляет собой *развитие классической алгебраической системы* $\mathsf{A}_A^{Ac} : \langle A, \Psi_A, \Phi_A \rangle$ на основном множестве A (в наших обозначениях), с сигнатурами операций Ψ_A и отношений Φ_A, до *метаалгебраической системы*

(М.а.с.) $\mathsf{A}_V^{Mac} : \langle V, \{HTG_V^k\}, \Psi_{\{HTG_V^k\}}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} \rangle$, включающей *множество-носитель* V («urelement» в *ZFU* [Баранович, 2009]), *основное множество* $\{HTG_V^k\}$, сигнатуры *метаопераций* $\Psi_{HTG_V^k}$ и *метаотношений* $\Phi_{HTG_V^k}$ на $\{HTG_V^k\}$ и, имплицитно, параметр топологизации k, $k \in \mathsf{N}_0$. Для финитных систем параметр топологизации k можно ввести явным образом - $\mathsf{A}_{V,k}^{Mac}$: $\langle V, k, \{HTG_V^k\}, \Psi_{\{HTG_V^k\}}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} \rangle$.

Вследствие выполнения условия $HTG_V^k \subseteq \mathsf{B}_{k+1}^V$ для любого гипертопографа уровня топологизации k в аспекте потенциальной осуществимости произвольная М.а.с. вида $\langle V, \{HTG_V^k\}, \Psi_{\{HTG_V^k\}}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} \rangle$ является подсистемой М.а.с. $\langle V, \mathsf{B}_{k+1}^V, \Psi_{\mathsf{B}_{k+1}^V}, \Phi_{\mathsf{B}_{k+1}^V} \rangle$. При значении $k=1$ основное множество есть дискретная топология B_1^V и мы имеем дело с М.а.с. на гиперграфах. Вырожденный случай М.а.с. - отождествление множества-носителя и основного множества, что влечет трансформацию М.а.с. в А.с.

Отличительной особенностью разработанной модели является использование в качестве основного множества (не тождественного множеству-носителю V) *встроенной* алгебраической *модели* $\mathsf{A}_{\{HTG_V^k\}}^M : < \{HTG_V^k\}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} >$. В классической парадигме А.с. допустимое множество l-местных отношений на V ($1 \le l \le n$, $|V| = n$) есть булеан B^V (1-го порядка в нашей терминологии). В модели СХ-$\eta\tau$-графа допустимые отношения принадлежат вложенной цепочке булеанов конечного порядка k топологизации множества-носителя $\mathsf{B}_1^V \subset \mathsf{B}_2^V \subset ... \subset \mathsf{B}_k^V$. Вышеописанная М.а.с. во вполне определенном смысле эквивалентна некоторой *метаалгебре* $\mathsf{A}_{\{HTG_V^k\}}$, элементами «основного множества» A в которой являются сложноструктурированные объекты алгебраической *модели* $\mathsf{A}_{\{HTG_V^k\}}^M : < \{HTG_V^k\}, \Phi_{\{HTG_V^k\}} >$, а элементами сигнатуры метаопераций $\Psi_{\{HTG_V^k\}}$ являются «составные» конструктивные алгебраические операции, *задействующие элементарные операции алгебры* на множестве-носителе V [Баранович, 2003].

Возвращаясь к сетевой парадигме, заметим, что настоящие определения *семантической сети* как *предметной алгебраической модели* полностью поглощаются М.а.с. на СХ-$\eta\tau$-графах, что однако, не решает в полной мере задачу формального синтеза модели в свете выводов разд. 1 и предлагаемой феноменологии переопределения понятия сети (в теоретико-графовой парадигме) как модели *динамики поведения* сложных систем.

Используем известные модели динамических сетей, преобразующих входящую в сеть информацию, поступающую на подмножество точек входа сети (полюса - точки «истока») в исходящую, сосредоточенную в подмножестве точек выхода сети (полюса - точки «стока») в качестве прообраза универсальной динамической модели представления знаний.

В качестве допустимого множества изменяющихся статических состояний модели используем апробированную модель k-гиперпространства СХ-гипертопографов. Динамические процессы преобразования информации (механизмы их реализации) в сети будем моделировать *функциональными* («процедурными» в инженерной терминологии) *преобразователями* как *топовершинной*, так и *гипертопореберной* принадлежности (в моделях как «квантованного времени», так времени по «наступлению события»).

Множество функциональных преобразователей информации (процедур) декларируем расширением обобщенного множества хроматических атрибутов (и их значений) СХ-$\eta\tau$-графа $HTG_V^k x$: $(V_\tau^k x, E_{\eta\tau}^k x, P_\tau^k)$, $P_\tau^k \equiv \{ {}_{Dc}P_\tau^k \cup {}_{Pr}P_\tau^k \}$, где *декларативные знания (Dc)* образуют известное подмножество ${}_{Dc}P_\tau^k$, ${}_{Dc}P_\tau^k \equiv {}_{Dc}P^{V_\tau^k} \cup {}_{Dc}P^{E_{\eta\tau}^k}$, а *процедурные (Pr)* - подмножество ${}_{Pr}P_\tau^k$, ${}_{Pr}P_\tau^k \equiv {}_{Pr}P^{V_\tau^k} \cup {}_{Pr}P^{E_{\eta\tau}^k}$.

В результате, наряду с *подклассом данных (фактов)*, представленных известными хроматическими атрибутами совместно с их значениями, в *класс хроматических атрибутов* вводится дополнительный *подкласс* - *функциональных преобразований* (процедур, отображений, операций на абстрактных типах данных, алгоритмов и т.п.). Последние есть алгоритмически разрешимые процедуры (формальные дискретные и неформальные, технологические, алгоритмы) преобразования некоторой совокупности хроматических атрибутов данных - *вход*, в некоторую совокупность хроматических атрибутов (и их значений) - *выход*. Причем, в процессе функционирования модели инициируется исполнение вполне определенных *информационно-вычислительных процессов* на алгебраической *модели* СХ-гипертопографов. В качестве входящих атрибутов процедур могут быть и *хроматические атрибуты – процедуры*. Тем самым реализуется класс, так называемых, вложенных процедур или рекурсивный вывод.

Соответственно, СХ-$\eta\tau$-граф на *Dc*, моделирующий фиксированное состояние системы в «текущем настоящем», расширяется до *СХ-гипертопосети* на *Dc* и *Pr* (их преобразования). Динамика *изменения элементов* k-гиперпространства СХ-$\eta\tau$-графов Γs, моделируемая ранее вышеописанным автоматно-алгебраическим механизмом с конструктивными метаоперациями на $\{HTG_V^k x\}$ типа «*трансформации*», «*развития*», «*соединения*», «*слияния*», «*О-структуризации*» и «*О-реконфигурации*» и т.п., реализуется в модели *СХ-гипертопосети* в виде информационного процесса, инициирующего сквозные *сетевые транзакции в точках входа* (вполне определенное подмножество *полюсов - топовершин*) *гипертопосети*. Последние активируются, в частности, поступающей в систему информацией в модели времени «по наступлению события», но реализуемого далее (при сформированном входе) в модели «квантованного времени».

В частности, реализация метаоперации «слияния» СХ-$\eta\tau$-графов в задаче пополнения («обучения – самообучения») подсистемы знаний (ПЗ) ИС с использованием *сетевой феноменологии порождает ярусно-параллельный информационный процесс* преобразования ПЗ, инициируемый во *всех элементах* (топовершинах и гипертопоребрах) *СХ-гипертопосети*, связанных с привнесением новой актуальной входящей информации. Процесс реализуется с использованием вышеописанных процедур, как *независимых* (завершаемых самостоятельно ва отдельных ветвях процесса), так и *связанных*, завершаемых одновременно с общей реализацией инициированного процесса по всем подпроцессам точек входа. Результаты реализации сетевого процесса должны биективно соответствовать результатам выполнению вышеуказанной мета-операции в апробированных моделях метаавтомата $\mathsf{A}_{HTG_V^k x}$ и метаалгебры $\mathsf{A}_{\{HTG_V^k x\}}$ на Γs.

Предлагаемая абстрактная модель *СХ-гипертопосети* является *apriori динамической*, соответствует сформулированным в разд. 1 феноменологическим выводам *уточнённой сетевой парадигмы*, ориентирована на характеризацию процессов преобразования «текущего» («предследующего») состояния системы в «следущее» в моделях дискретного времени и включает мощный аппарат моделирования статических состояний (в отличие от существующих *псевдодинамических интерпретаций семантических сетей*). Вследствие обоснованного изоморфизма всех вышеупомянутых классов моделей (метаалгебра, метаавтомат, гипертопосеть), выбор предпочтительного из них может быть связан с вполне определенными прагматическими соображениями.

В завершение изложения заметим, что с нашей точки зрения, формальная составляющая модели СХ-гипертопосети достаточно прозрачна для квалифицированных специалистов, базируется на разработанном аксиоматическом базисе k-гиперпространства семиотико-хроматических гипертопографов, абстрактных моделях алгебраических систем и конечных автоматов, коррелирует с моделью фреймов (процедуры «слуги» и «демоны») и учитывает механизмы представления и реализации известных классов динамических сетей (сети Петри, Е-сети, ИНС).

Библиографический список

[Баранович, 1995а] Баранович А.Е. Элементы сущностной теории информации // Тр. XIII Всерос. межведом. науч. конф. — М., 1995.

[Баранович, 1995б] Баранович А.Е. Некоторые вопросы использования теории П-графов при моделировании информации // Тр. XVIII Всерос. межведом. науч.-техн. конф.: секц. 7. — Курск, 1995.

[Баранович, 1997] Баранович А.Е. Автоматная модель интеллектуального процесса оценки ценности информации на Х-гиперграфах: в сб. «Универсальный подход к структурному моделированию директивно-целевых информационных процессов» // Сб. статей. — М., МО РФ, 1997.

[Баранович, 1998] Баранович А.Е. Хроматические графы: фрагменты теории. Ч. II - III. Топологизация СХ-графов. Гипер-, топо- и паратопографы. СХ-гипертопографы. Метрическое k-гиперпространство СХ-$\eta\tau$-графов. — М., МО РФ, 1998.

[Баранович, 2001] Баранович А.Е. Атрибутивно-категориальная концепция информации. В кн. авт.: Введение в предметно-ориентированные анализ, синтез и оптимизацию элементов архитектур потоковых систем обработки данных. 2-е изд., доп. и испр. — М., ГШ ВС РФ, 2001.

[Баранович, 2002] Баранович А.Е. Структурное метамоделирование телеологических информационных процессов в интеллектуальных системах. — М.: ГШ ВС РФ, 2002.

[Баранович, 2003] Баранович А.Е. Семиотико-хроматические гипертопографы. Введение в аксиоматическую теорию: информационный аспект. — М.: МО РФ, 2003.

[Баранович, 2006а] K-гиперпространство семиотико-хроматических гипертопографов как универсальная модель представления фактографических знаний // Матер. IX междунар. конф. «Интеллект. сист. и компьют. науки». Т. 1, ч. 1. — М., МГУ, 2006.

[Баранович и др., 2006б] Baranovich A.E., Sidorov O.V. Basic principles of knowledge's representation and speech information processing within integrated intelligent system // Proc. of Intern. conf. «Speech & Computer» (SPECOM'2006). — St.-Petersburg, 2006.

[Баранович, 2007а] Baranovich A.E. Concept of operated evolution of a natural language: problem statement / Proc. of the 12th Intern. Conf. «Speech and Computer» SPECOM'2007. Vol. 2. — M., MSLU, 2007.

[Баранович, 2007б] Баранович А.Е. Абстрактная экспликация модели-универсума информации: измеримость и метризация // Тр. междунар. научн.-техн. конф. «Интел. системы» (AIS'07) и «Интел. САПР» (CAD-2007). Т. 1. — М: Физматлит, 2007.

[Баранович, 2009] Баранович А.Е. К вопросу идентификации тождественных объектов в модели k-гиперпространства СХ-гипертопографов // Тр. I Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'09». Т. 1. — М.: Физматлит, 2009.

[Баранович, 2010а] Баранович А.Е. О задаче отождествления / различения элементов декларативных знаний в модели k-гиперпространства СХ-гипертопографов // Тр. II Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'09». Т. 1. — М.: Физматлит, 2009.

[Баранович, 2010б] Баранович А.Е. О систематизации аксиоматического аппарата предметной области «Искусственный интеллект» / Интеллектуальные системы. Т. 14. Вып. 1-4. — М., 2010.

[Баранович, 2010в] Баранович А.Е. Дидактические материалы к специальному курсу «Введение в информациологию и ее специальные приложения». — М., РГГУ, 2010. Электрон. версия: [Электрон. ресурс]. — 2009. — Режим доступа авториз.: http://elib.lib.rsuh.ru/elib. — Дата доступа: 01.12.2010.

[Басакер и др., 1973] Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. — М.: Наука, 1973.

[Бенерджи, 1972] Бенерджи Р. Теория решения задач. Подход к созданию искусственного интеллекта / Пер. с англ. С.П. Чеботарева; Под ред. Ю.В. Буркина. — М.: Мир, 1972.

[Блумфилд, 1968] Блумфилд Л. Язык. / Пер. с англ. Е.С. Кубряковой и В.П. Мурат. Под ред. и с предисловием М.М. Гухман. — М.: Прогресс, 1968.

[БСЭ, 2002] Большая советская энциклопедия (в 30 томах). Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. — М., Сов. энциклопедия, 1970-1977. [Электрон. ресурс]. — [М., 2002]. — 3 электрон. опт. диска (CD-ROM). — М., Большая Российская энциклопедия, 2002.

[Вики, 2010] Википедия, свободная энциклопедия [Электрон. ресурс]. – 2010. – Режим доступа свободн.: http://ru.wikipedia.org/wiki. – Дата доступа: 01.12.2010.

[Гудман и др., 1981] Гудман С., Хидетниеми С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. — М.: Мир, 1981.

[Зыков, 1974] Зыков А.А. Гиперграфы / Успехи матем. наук. Вып. 29. № 6. — М., 1974.

[Зыков, 2004] Зыков А.А. Основы теории графов. — М., Вузовская книга, 2004.

[Илюшечкина и др., 2010] Илюшечкина Л.В., Костин А.Е. Использование комплекса имитационного моделирования WINSIM для исследования локальных вычислительных сетей. [Электрон. ресурс]. — 2010. — Режим доступа свобод.: http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2002/12/987.html. — Дата доступа: 01.12.2010.

[Кантор, 1985] Кантор Г. Труды по теории множеств. — М., Наука, 1985.

[Капитонова Ю.В. и др., 2004] Лекции по дискретной математике / Ю.В. Капитонова, С.Л. Кривой, А.А. Летичевский, Г.М. Луцкий. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004.

[Колмогоров, 1965] Колмогоров А.Н. Три подхода к определению понятия "количество информации" / Проблемы передачи информации. — № 1. — М., 1965.

[Котов, 1984] Котов В.Е. Сети Петри. — М.: Наука, 1984.

[Мальцев, 1970] Мальцев А.И. Алгебраические системы. — М., Наука, 1970.

[МЭ, 1985] Математическая энциклопедия. Гл. ред. И.М. Виноградов. В 5-ти томах. — М., Сов. энциклопедия, 1977-1985.

[Оре, 1980] Оре О. Теория графов. — М.: Наука, 1980.

[Поспелов, 1981] Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. — М.: Энергоиздат, 1981.

[Сачков, 1982] Сачков В.Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики. — М.: Наука, 1982.

[Тарасов, 2006] Тарасов В.Б. Логико-лингвистические модели: прошлое, настоящее и будущее // Политехнические чтения: Сб. тр. Вып. 7. Искусственный интеллект - проблемы и перспективы / Политехн. музей; науч. ред. Г.Г. Григорян, В.Л. Стефанюк. — М., 2006.

[ТСИИ, 1992] Толковый словарь по искусственному интеллекту / А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. — М.: Радио и связь, 1992.

[ТСГ, 1999] Толковый словарь по теории графов в информатике и программировании / В.А. Евстигнеев, В.Н. Касьянов / Под ред. Л.С. Мельникова. - Новосибирск: Наука, 1999. - ИСИ им. А.П. Ершова СО РАН [Электрон. ресурс]. — 2009. — Режим доступа свободн.): http://pco.iis.nsk.su/grapp2/html/main.htm. — Дата доступа: 01.12.2010.

[Френкель и др., 1966] Френкель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. — М.: Мир, 1966.

[Чечкин, 1991] Чечкин А.В. Математическая информатика. —М.: Наука, 1991.

[Чухарева, 2010] Чухарева О.В. Представление параллельных процессов с помощью Е-сетей. [Электрон. ресурс]. — 2010. — Режим доступа свобод.: http://www.chyhareva.ru/IMIT_MOD/Mod_par_pr/E_set/index.html. — Дата доступа: 01.12.2010.

[Харари, 2006] Харари Ф. Теория графов. — 3-е изд. — М.: КомКнига, 2006.

[Харитонова, 2006] Харитонова Е.В. Графы и сети: учебное пособие / Е.В. Харитонова. — Ульяновск: УлГТУ, 2006.

[Хаусдорф, 1937] Хаусдорф Ф. Теория множеств. Пер. с нем. — М.-Л., ОНТИ НКТП СССР, Гл. ред. тех.-теор. лит-ры, 1937.

[Хренников, 2004] Хренников А.Ю. Моделирование процессов мышления в *p*-адических системах координат. — М.: Физматлит, 2004.

[Эшби, 1959] Эшби У.Р. Введение в кибернетику. — М., Иностр. лит-ра, 1959 (An introduction to cybernetics. — London, Chapman. Hall ltd, 1956).

[Aczel, 1988] Aczel P., Non-well-founded sets. — SCLI Public., Stanford, 1988.

[Barwise, 1975] Barwise J. Admissible sets and structures. — Berlin, Springer et al., 1975.

[Barwise et al., 1991] Barwise J., Moss L. Hypersets. — Mathematical Intelligencer. Vol. 13. N. 4. — 1991.

[Barwise et al., 1996] Barwise J., Moss L. Vicious circles and the mathematics of non-well-founded, Phenomena. — Stanford, CSLI Public., 1996.

[Berge, 1973] Berge C. Graphs and Hypergraphs. — North Holland, Amsterdam, 1973.

[Cantor, 1932] Cantor G. Gesammelte Abhandlungen. — Berlin, Verlag von J.Springer, 1932.

[GC, 2010] Glossary Commander. Служба тематических толковых словарей [Электрон. ресурс]. — 2010. — Режим доступа свобод.: http://glossary.ru. — Дата доступа: 01.12.2010.

[Leibniz, 1960] Leibniz G.W. Fragmente zur Logik. Ausgewählt, übersetzt und erläutert von F.Schmidt. — Berlin, 1960.

[Rashevsky, 1955] Rashevsky N. Life, information theory, and topology // The Bulletin of Mathematical Biophysics, 1955. V. 17. — N 3.

[Shannon et al., 1949] Shannon C.E., Weaver W.A. The Mathematical Theory of Communication. — University of Illinois Press, Urbana, 1949.

[Zermelo, 1908] Zermelo E. Untersuchungen über die Grundlagen der Mengenlehre. I. — Berlin, Math. Ann., 1908. Bd. 65, S. 261–281.