

ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ БАЗОВЫХ СУЩНОСТЕЙ «ОРГРАФ ЗНАЧЕНИЙ» И «СТРУКТУРНАЯ ЭНЕРГИЯ»

Ю.А. Прокопчук

Институт технической механики НАН Украины и ГКАУ, Украинский государственный химико-технологический университет

Построена формальная модель базовых идеальных сущностей «орграф значений» и «структурная энергия», которые лежат в основе сильных (идеальных) взаимодействий. Изучены их свойства. Рассмотрена специфика действия принципа структурной когерентности применительно к орграфу значений и произвольному образу. Построена схема формирования обобщенных репрезентаций образа.

Побудовано формальну модель базових ідеальних сутностей «орграф значень» і «структурна енергія», які лежать в основі сильних (ідеальних) взаємодій. Вивчено їхні властивості. Розглянуто специфіку дії принципу структурної когерентності стосовно орграфу значень і довільного образу. Побудовано схему формування узагальнених репрезентацій образу.

Введение

Настоящее время характеризуется новой сменой парадигмы в науке о сложных системах. На передний план исследований выходят процессы, демонстрирующие не только нелинейность, но и автореферентность, глубокую неопределенную рекурсию, самоконструирование (самопрограммирование), самовосстановление и самодвижение [1–18]. Все эти свойства связаны с целым спектром многоуровневых эволюционных процессов и в особенности когнитивных процессов. Последние с полным правом можно отнести к феноменам идеального.

Понятие идеального является важнейшей категорией философии [1–3, 6]. Выделяют онтологический, гносеологический и аксиологический смыслы категории идеального. В ряде случаев идеальное эксплицируется в качестве синонима понятий сознания, психики, мышления, духовного, субъективного и т.п. В философском сообществе (позднее психологами, социологами, физиологами, кибернетиками) уже не одно столетие обсуждается одна из самых сложных философских проблем: проблема сознание — тело [1–6]. В 1996 г. вышла книга Дэвида Чалмерса (David Chalmers) [6], которая стала научным бестселлером, вызвав мощную волну исследований, направленных на поиск фундаментальных основ идеальных феноменов. В своей работе Чалмерс показал, что применяемые подходы не позволяют разрешить «трудную проблему»: почему продуцирование поведения должно сопровождаться переживаемой в опыте субъективной внутренней жизнью. С момента выхода книги прошло уже немало времени, однако феномен идеального остается столь же загадочным, как и раньше.

Обзор как философских, так и метафизических подходов можно найти в

[2, 3]. Отсутствие конструктивных формальных моделей идеальных феноменов часто приводит исследователей к двум крайностям: либо вся материя наделяется способностью порождать идеальные феномены [2], либо признается существование «непознаваемой сверхсущности» (синоним «божественной сущности»), ответственной за идеальные феномены.

В естественнонаучной литературе идеальное по существу не рассматривается и не эксплицируется в качестве строгой (формальной) категории. Вместе с тем Дэвид Дойч (David Deutsch. *The Fabric of Reality*, 1998; [7]) отмечает, что описание структуры реальности не может быть полным без эпистемологии, без объяснения феноменов идеального (его *теория всего* объединяет в пределах мультиверса многомировой, вычислительный, эпистемологический и эволюционный принципы). С этим трудно не согласиться. Роджер Пенроуз (Roger Penrose) и его последователи пытаются объяснить феномены сознания исключительно на основе квантового подхода [8]. Однако не будем забывать, что наряду с квантовой механикой параллельно существует и механика Ньютона и многие задачи с ее помощью разрешаются вполне удовлетворительно. Большое внимание описанию процессов в мозге уделяется синергетикой и ее основоположником Германом Хакеном [9]. Важно также отметить, что реалистичные модели идеального должны включать в себя и когнитивную этологию — науку о мышлении животных.

Отсутствие целостной естественнонаучной теории идеального затрудняет постановку и решение прикладных вопросов, связанных с созданием интеллектуальных приложений, истинно партнерских систем, когнитивной робототехники, а также с разработкой новых инновационных подходов в образовании. В работах [16–18] автор наметил общие контуры подхода к формализации и моделированию идеальных (когнитивных) процессов, который основан на парадигме предельных обобщений. В работе [18] определены функциональные взаимосвязи идеального и деятельности, где идеальная активность выступает как организующая, направляющая и регулирующая сила.

Целью данной работы является построение взаимосвязанных моделей базовых идеальных сущностей «орграф значений» и «структурная энергия», а также изучение свойств данных сущностей. По предположению автора данные сущности лежат в основе сильных (идеальных) взаимодействий, на основе которых разворачиваются ключевые когнитивные архитектуры и процессы.

Постановка задач исследования

Основными задачами исследования являются:

— построение взаимосвязанных моделей базовых идеальных сущностей «орграф значений» и «структурная энергия», а также изучение свойств данных сущностей;

— выяснение специфики действия принципа структурной когерентности

применительно к орграфу значений и произвольному образу;

— выяснение роли структурной энергии в механизме структурной неустойчивости орграфов значений;

— построение схемы формирования обобщенных репрезентаций образа, выяснение роли структурной энергии в колебаниях активности набросков образа, рассмотрение механизма редукции (коллапса) энергетической функции образа, механизмов предвосхищения и адаптивного резонанса при восприятии образа.

Концепция и определения базовых сущностей

Понятие «значение» вводится как предел математической делимости субъективного, качественного, феноменологического пространства. Под *значением* будем понимать некую бесструктурную (нульмерную) единицу, обладающую двумя устойчивыми состояниями: «есть значение» (синоним – «активно») и «нет значения» («неактивно»). Как физические сущности значения могут обладать простейшими распознающими свойствами (автоматизмами), позволяющими им изменять собственное состояние в зависимости от состояния других значений. Значения в разных состояниях могут синтезировать и генерировать определенные осциллирующие энергетические поля разной модальности (например, «положительные/отрицательные» или «квазидетерминированные/хаотические»). Эти поля могут распространяться как по выделенным каналам (системопаттернам), связывающим разные значения, так и распределенно в пространстве. Собственно совокупное воздействие всех полей и определяет конкретное состояние того или иного значения. Кроме того, разные значения могут находиться в связанном или запутанном состоянии (квантово-семантическое запутывание [16]). Понятие «значения», таким образом, объясняет природу основных дуализмов субъективного: дискретное — непрерывное, локальное — нелокальное (квантовое), детерминированное, обусловленное — случайное.

Орграфы значений рассматриваются как некоторые группы устойчивых совокупностей значений, отвечающих одной модальности. Любое значение относится к какому-либо одному орграфу. Для орграфа значений характерны два свойства: «разделенность» (на кванты — значения) и «целостность» (связанность отношениями разных значений, главное из отношений — принадлежность одной модальности). Как отдельные значения, так и совокупности значений (орграфы значений, доменов, набросков) могут находиться в связанном или запутанном состоянии. Важную роль в связывании разных орграфов играют системопаттерны и их разновидности — идеальные закономерности, которые служат каналами передачи структурной энергии [17]. Таким образом, элементарной «клеточкой», порождающей идеальные феномены, оказываются постоянно возникающие (энергетические) отношения между двумя и более дискретностями-значениями и сильный принцип *qui pro quo* (квипрокво — одно вместо

другого). Последний ассоциируется с принципом обобщения: одни значения обобщают и заменяют другие значения.

Орграфы значений, в свою очередь, также являются дискретностями. Целостностью является фрактальное феноменологическое пространство [12–14, 16]. Целостность такого пространства обеспечивается взаимодействием орграфов значений, системопаттернов и структурной энергии. Таким образом, феноменологическое пространство не только дискретно, но одновременно и целостно, т.е. замкнуто само на себя (системная и операциональная замкнутость). И именно из этой диалектики дискретного и целостного, локального и нелокального, детерминированного и случайного вытекает фундаментальная основа теории идеальности специальным образом организованной материи.

Методологически любую сущность феноменологического (идеального) пространства, включая значения, орграфы значений и структурную энергию, можно рассматривать как с позиции *рекогеренции* (целостности, квантово-семантической суперпозиции смыслов), так и с позиции *декогеренции* (разделенности, однозначно проявленного смысла) [16]. В рамках данной работы будет превалировать вторая позиция. Дадим формальные определения базовых сущностей.

Произвольные модальности, характеристики, категории, свойства, качества, квалиа (*qualia*), признаки явлений действительности и субъективной реальности обозначим одним термином *тест*. Этим же термином будем обозначать любые мономодальные орграфы на базе отношения обобщение — детализация. Любой тест может принимать определенные *значения*. Под значениями будем понимать собственно значения, а также коды, метки, пейсмекеры (берущие на себя инициативу, задающие активность, стиль, ритм действий), ссылки, указатели на комплексные структуры и процессы, например:

- лингвистические объекты (понятия, шаблоны, фреймы, концепты, лексические деревья);
- модели разного уровня обобщенности;
- наброски образов, мыслеобразов (речевых), квантов деятельности;
- динамические процессы, функциональные системы, радикалы, системопаттерны [16].

В живых системах *пейсмекером* называют один из эндогенных механизмов управления. Это совокупность клеток определенного органа, специализированной функцией которых является организация отношений (взаимодействия) клеток данного органа. Различают тонические и ритмические пейсмекеры. В работе [16] пейсмекеры использовались для управления запуском/остановкой радикалов, системопаттернов, функциональных систем.

Тесты отвечают за первичное *различение* (коды-различения). Множество значений теста τ обозначим $\{\tau\}$. Множество значений теста τ с

обобщающими связями назовем *орграфом значений* и обозначим [17]

$$Gv(\tau) = \{a \rightarrow_e b\}_\tau, \quad (1)$$

где a, b — значения теста (b обобщает a ; a детализирует b ; a эквивалентно b : $a \leftrightarrow_e b$); e — структурная энергия. Фундаментальная триада ($a \rightarrow_e b$), реализуя *сильные связи*, является простейшим сисемопаттерном и базовым конструктом смысла. Структурная энергия связана со всеми элементами орграфа: как со значениями, так и со связями (проводимость связей). Следовательно, в каждый момент времени с каждым значением теста связан определенный уровень структурной энергии (энергия активации): $\forall t, \{\langle \underline{\tau}, e \rangle\}_t$. Если значение является указателем (ссылкой, пейсмекером), то энергия активации отражает степень возбуждения подчиненной структуры.

Все орграфы значений погружены в активную физическую среду, которую для определенности назовем *виртуальной сплошной средой* (ВСС) [16]. Необходимость такого погружения вытекает из пространственной ограниченности самоорганизующихся систем. Внутрисистемные взаимодействия возможны только при определенной пространственной композиции (объединении) элементов системы: чтобы произошло взаимодействие между элементами, последние должны быть сближены на определенное эффективное расстояние. Из этого же следует, что процессы самоорганизации могут протекать внутри определенных физических границ, отделяющих самоорганизующуюся систему от среды.

Физическая среда обеспечивает существование так называемых *слабых связей* в биологических сетях. Противопоставляемые им сильные связи действуют локально, внутри пространственно ограниченных сетевых кластеров или модулей (орграфов значений, доменов, набросков), тогда как слабые характеризуются дальнодействием и осуществляют связь между разными модулями сети (пример — идеальные закономерности). Основная нагрузка в ВСС по передаче структурной энергии приходится на сильные связи.

Таким образом, как активная среда ВСС принимает участие в нелокальной передаче структурной энергии и, соответственно, информации между орграфами значений, обеспечивая тем самым дуализм локальное — нелокальное или дискретное — непрерывное. Орграф значений является, следовательно, специфической «приемо-передающей (структурную энергию) антенной». Концепция ВСС наделяет клубок орграфов значений тестов (модальностей) реальными физическими свойствами.

В ряде приложений отсутствие активности какого-либо значения $\underline{\tau}$ может трактоваться как активность отрицания данного значения, т.е. активность $\neg \underline{\tau}$ (допускается своего рода *отрицательная энергия*). Данная возможность играет важную роль в структурогенезе одной из разновидностей орграфов значений, а именно орграфов доменов тестов [16, 17]. Кроме того, активность отрицаний значений позволяет рассматривать волновые колебания

структурной энергии в рамках всего орграфа значений независимо от первичной активности той или иной его части (пояснения ниже). Другими словами, вершинами орграфа являются не пары $\langle \tau, e \rangle$, а связки $\langle \tau, e^+ \rangle / \langle \neg\tau, e^- \rangle$, где e^+ , e^- — соответственно положительная и отрицательная энергии. Нулевая энергия, как результат взаимокомпенсации положительной и отрицательной активности, будет соответствовать значению *неопределенности*. В этом проявляется двойственность значений орграфа.

Развитие данной интерпретации позволяет применить квантовый подход, а именно: оппозицию (τ , $\neg\tau$) рассматривать как *кубит* – базовую единицу квантовой информатики (аналог 0-1) [7, 8], т.е. неразделяемую суперпозицию противоположных значений со всеми вытекающими последствиями, в частности *квантовым запутыванием* смежных значений (свойством *нелокальности*) [16]. Двойственную интерпретацию приобретают также и связки ($a \rightarrow_e b$), поскольку необходимо уточнять специфику передачи отрицательной энергии (пояснения ниже). Связи к тому же могут быть «мерцающими» (мультистабильными) [16], что еще более усиливает квантовый эффект.

В нейронной сети активность отрицаний значений может передаваться, например, хаотической низкоинтенсивной импульсацией нейронов (нейронных ансамблей), активность значений — модулированными паттернами импульсов, а значению *неопределенности* будет соответствовать потенциал покоя. В этой связи можно отметить, например, работу [3], в которой представлена возможность синтеза трехзначной логики работы нейрона: значение истины соответствует возбуждающему постсинаптическому потенциалу, значению неопределенности соответствует потенциал покоя, а значению «ложь» — тормозной постсинаптический потенциал. Концепция структурной энергии с точки зрения логики предполагает применение многозначной логики к описанию работы нейронов и нейронных ансамблей.

В полном объеме проблема отрицаний значений разрешается в конструкции орграфов доменов тестов [16, 17].

Поскольку с каждой вершиной-значением орграфа может быть связано сколь угодно много эквивалентных значений (например, синонимов или пейсмекеров альтернативных функциональных систем), то без существенного ограничения общности и для упрощения изложения в дальнейшем связи « \leftrightarrow » рассматриваться не будут (все эквивалентные значения представляются одним значением-кодом).

Примеры лингвистических орграфов значений:

$G_V(\text{Растения}) = \{\text{яблоко} \rightarrow \text{фрукт}; \text{фрукт} \rightarrow \text{растение}; \text{помидор} \rightarrow \text{овощ} \rightarrow \text{растение}; \text{травя} \rightarrow \text{растение}; \text{огурец} \rightarrow \text{овощ}; \text{береза} \rightarrow \text{растение}\};$

$G_V(\text{Температура}) = \{38^\circ \rightarrow \text{повышенная} \rightarrow \text{ненормальная}; 36^\circ \rightarrow \text{пониженная}; \text{пониженная} \rightarrow \text{ненормальная}; 36,6^\circ \rightarrow \text{нормальная}\};$

$Gv(\text{Возраст}) = \{14 \rightarrow \text{юный} \rightarrow \text{молодой} \rightarrow \text{допенсионный}; 30 \rightarrow \text{молодой}; 70 \rightarrow \text{пожилой}; \text{пожилой} \rightarrow \text{пенсионный}\}$.

На рис. 1 приведены примеры графической визуализации орграфов значений.

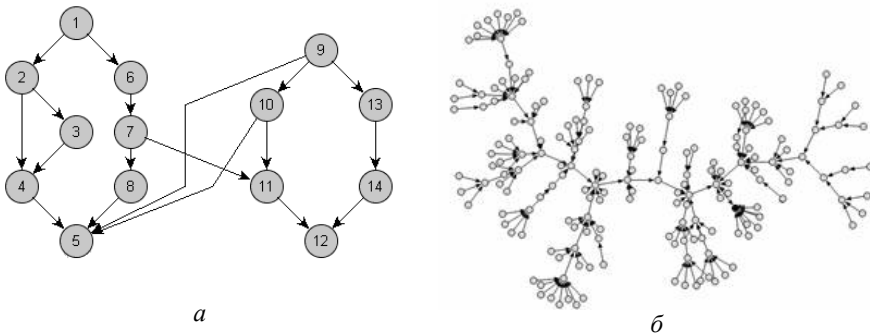


Рис. 1. Орграфы значений:
 a — $Gv(x)$; b — $Gv(y)$

Орграфом значений является произвольная *таксономическая структура*. Математически таксономией является древовидная структура классификаций определенного набора объектов. Орграфами значений являются также словари, тезаурусы, онтологии предметных областей (ПрО). Последние являются основой для выработки единой, согласованной, нормативной, однозначно понимаемой, полной и непротиворечивой терминологии, используемой всеми, кто имеет отношение к ПрО.

Важно отметить, что формирование орграфов значений (и других обобщающих когнитивных структур) может происходить не в результате размышлений, а «автоматически», без осознания самого факта обобщения. Обобщение без осознания — это одно из фундаментальных свойств природных когнитивных процессов и памяти [1]. Оно заключается в том, что накопление информации сопровождается формированием структур, отвечающих за выделение общих признаков свойственных различным явлениям. Эти признаки могут не совпадать с предметами или явлениями, которые мы знаем, а отражать внутренние скрытые сущности или закономерности.

Таким образом, в структурах коры по мере накопления опыта формируются нейронные конструкции (в соответствии с генетическим кодом), выделяющие скрытые обобщающие свойства. Мы выделяем эти свойства и используем их при формировании памяти и в когнитивных процессах [4, 5]. Они образуют области «дополнительных сенсоров» более высокого уровня, которые реагируют не на рецепторные раздражения, а на узнавание неких общих сущностей. Пространство обобщений само является «сенсорной» зоной, на базе которой строятся обобщения более высокого порядка (это и есть функции вторичных и третичных зон коры). Используя эти знания, мы не отдаем себе отчета, что это за знания. Ярким примером

является распознавание зрительных и слуховых образов. Другим примером является формирование моторных навыков (ходьба, бег, езда на велосипеде, управление автомобилем и т.д.). Из обобщенных единиц формируются иерархии мыслеобразов и квантов деятельности [18].

Развиваемый автором принцип предельных обобщений [16] собственно и предназначен для раскрытия сути и формального описания подобных процессов. Обобщения касаются орграфов значений, системопаттернов, структурной энергии и их производных.

Орграфы значений модальностей (тестов), которые являются врожденными или возникли без осознания субъектом (человеком, агентом), назовем *имплицитными орграфами* (невербальная форма). Те же орграфы, что субъект может представить, изобразить, сформулировать вербально, назовем *эксплицитными орграфами* значений (вербальная форма). Многие орграфы значений являются *частично эксплицитными*: осознаваемыми являются только максимально обобщенные значения орграфов. Приведенные выше примеры являются эксплицитными лингвистическими орграфами значений.

Термины «вершина», «узел» и «значение» применительно к орграфам значений будем считать синонимами.

Свойства базовых сущностей. Принцип структурной когерентности

Первичным свойством орграфа значений теста является его унимодальность. Если в описании какой-либо ситуации используется модальность-тест τ , то значения теста могут выбираться только из орграфа $Gv(\tau)$. Из унимодальности и отношения обобщение — детализация (является отношением строгого порядка) следует, что орграф ациклический. Энергия (проводимость) каждой связи больше нуля (если проводимость связи равна нулю, то данная связь временно неактивна).

Все вершины орграфа значений делятся на три класса: базовые (нет предков), терминальные (нет потомков) и внутренние вершины. Так орграф $Gv(x)$ имеет две базовые — 1, 9 и две терминальные вершины — 5, 12; орграф $Gv(y)$ имеет множество базовых и одну терминальную вершину (черная вершина).

Множество «внутренние вершины» может быть пустым. Множества начальных и терминальных вершин не могут быть пустыми. Значения базовых вершин будем считать самыми «точными» (процессы или модели, которые они символизируют, самые детальные), а значения терминальных вершин — самыми обобщенными. Каждое перемещение по стрелке означает повышение уровня обобщенности, а движение в обратном направлении означает повышение уровня детализации (там, где есть процессы обобщения, есть и обратные процессы детализации). Терминальные вершины отражают предельный уровень обобщения в рамках данного теста.

С точки зрения динамики распространения энергии терминальные вершины являются *аттракторами*. Все узлы-значения, которые приводят к

конкретному аттрактору, образуют *область притяжения* этого аттрактора-значения.

Произвольные вершины a и b орграфа $Gv(\tau)$ назовем *связанными*, если между ними существует последовательность переходов обобщения по вершинам орграфа. Произвольную последовательность переходов обобщения между связанными вершинами a и b орграфа $Gv(\tau)$ назовем *смысловой траекторией* (обобщения). Смысловых траекторий между заданными вершинами может существовать несколько, например, в орграфе $Gv(x)$ вершины 2 и 4 соединяют две смысловые траектории: $(2 \rightarrow 4)$ и $(2 \rightarrow 3 \rightarrow 4)$. В древовидных орграфах любые связанные вершины соединяет только одна смысловая траектория.

Пучок смысловых траекторий из вершины a в вершину b орграфа $Gv(\tau)$ обозначим $(a \uparrow b)_\tau$. Если необходимо выделить конкретную смысловую траекторию $(a \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow \dots \rightarrow b)$, то будем использовать нотацию $(a \uparrow_{cd\dots} b)_\tau$. Каждому пучку смысловых траекторий обобщения $(a \uparrow b)_\tau$ однозначно соответствует сопряженный пучок *траекторий детализации*, который обозначим $(b \downarrow a)_\tau$.

Каждой смысловой траектории в рамках пучка $(a \uparrow b)_\tau$ отвечает своя *проводимость* структурной энергии или свое *сопротивление*, следовательно, имеются траектории с минимальным сопротивлением (аналог вариационного принципа). Энергия быстрее всего распространяется именно по таким траекториям. Смысловые траектории с минимальным сопротивлением (или высокой проводимостью) образуют *критические пути* или *потоки* $(a \uparrow b)_{opt}$.

Две вершины-значения a и b орграфа $Gv(\tau)$ назовем *альтернативными*, если не существует вершины c (возможно совпадающей с одной из вершин a или b), для которой определены смысловые траектории $(c \uparrow b)_\tau$ и $(c \uparrow a)_\tau$. Ясно, что любые две вершины, которые связаны смысловой траекторией, не являются альтернативными. По умолчанию в описании любой текущей ситуации или явления *запрещается одновременно использовать альтернативные значения теста* (это не препятствует одновременному использованию обобщающих значений). Данный запрет следует трактовать как *важное свойство* орграфов значений. Альтернативные значения могут появляться в динамике развития ситуации. В орграфе $Gv(x)$ базовые значения 1 и 9 являются альтернативными. В общем случае нельзя одновременно использовать значения теста, которые альтернативны первичному множеству активных значений (динамика активности альтернативных ансамблей значений носит *взаимодополняющий характер*).

В дальнейшем при формулировке утверждений двойственный характер вершин орграфа значений приниматься в расчет не будет. Он естественным образом учитывается при рассмотрении структурно-завершенных орграфов доменов тестов путем автоматического порождения доменов-листьев [16].

Предложение 1. В произвольном орграфе значений с одной базовой вершиной альтернативные значения отсутствуют. Если в орграфе несколько базовых значений, то альтернативные значения есть всегда, в частности все базовые значения альтернативны друг другу (по умолчанию).

Действительно, в качестве вершины c в определении альтернативности можно принять базовую вершину.

Множество всех альтернативных вершин для произвольной вершины b орграфа $Gv(\tau)$ обозначим $A(b)$. Множество $A(b)$ может быть пустым. Множество всех вершин орграфа $Gv(\tau)$, не имеющих альтернативы, обозначим $U(\tau)$. Для орграфа $Gv(x)$: $A(1) = \{9, 10, 13, 14\}$; $U(x) = \{5, 11, 12\}$.

Предложение 2. Безальтернативное множество $U(\tau)$ образуют все вершины орграфа значений $Gv(\tau)$, для которых существуют смысловые траектории одновременно со всеми базовыми вершинами.

Данное предложение позволяет построить алгоритм вычисления множества $U(\tau)$. Множество $U(\tau)$ может быть пустым, но такое может иметь место только при нескольких базовых вершинах.

Следствие 1. Отношение альтернативности разбивает все вершины произвольного орграфа значений на два непересекающихся подмножества, одно из которых $U(\tau)$.

Предложение 3. Для любых значений a и b орграфа $Gv(\tau)$ верно: если $a \in A(b)$, то $b \in A(a)$. Отношение альтернативности не транзитивно.

Для каждого значения a орграфа $Gv(\tau)$ определим *элементарный орграф обобщения* или *конус обобщения* $Gv^\uparrow(\tau|a)$, который является фрагментом $Gv(\tau)$ и содержит все смысловые траектории, начинающиеся с a (в том числе и само значение a). Любой конус обобщения является орграфом значений. Конус обобщения определен для любой вершины орграфа значений. Для терминальных вершин он минимальный и состоит из самой терминальной вершины. Максимальные размеры конусы обобщения имеют для базовых вершин.

С введением сущности «конус обобщения» появляется возможность уточнить специфику распространения структурной энергии, а именно: *активность значения a распространяется по всему конусу обобщения $Gv^\uparrow(\tau|a)$* . Другими словами, если активно a (активна задача a , активна функциональная система a и т.п.), то активны все значения (все задачи, все функциональные системы) конуса обобщения и, соответственно, все вложенные конусы обобщения (определяя тонкую структуру активности). В этом состоит одно из главных свойств орграфа значений. Так как разные конусы могут пересекаться, то имеет место суперпозиция энергетических волн активности. Важность данного свойства определяется тем, что активность одного значения порождает *неразделяемую суперпозицию активности* множества значений, а все активные значения участвуют в

моделировании ситуации действительности. В этом суть *принципа структурной когерентности* [6].

В рамках орграфа $Gv(\text{Растения})$, если будет активно значение «Помидор», то одновременно станут активными значения «Овощ» и «Растение», так как

$$Gv^{\uparrow}(\text{Растения} | \text{Помидор}) = \{\text{помидор} \rightarrow \text{овощ} \rightarrow \text{растение}\}.$$

При двойственном характере вершин-значений активность a приводит к одновременной активности отрицаний всех альтернативных значений.

Справедливо следующее предложение.

Предложение 4. Конусы обобщения не содержат альтернативные значения.

Доказательство очевидно, так как в качестве вершины c (фигурирующей в определении альтернативности) можно выбрать конусообразующую вершину.

Предложение 5. Если в орграфе значений $Gv(\tau)$ существуют несколько базовых значений a_i ($i = 1, \dots, n$) и среди них имеются хотя бы два значения a_i и a_j , такие, что $Gv^{\uparrow}(\tau | a_i) \cap Gv^{\uparrow}(\tau | a_j) = \emptyset$, то $U(\tau) = \emptyset$.

Другими словами, если выполняется условие предложения 5, то для любого значения орграфа $Gv(\tau)$ существуют альтернативные значения. Из предложения 5 вытекает, что орграфы значений *необязательно односвязные* (односвязность предполагает существование пути в неориентированном графе из одной произвольной вершины в другую). Таким образом, некоторые сенсоры могут иметь свою сеть обобщения, которая никак физически не связана с другими сетями обобщения той же модальности (того же теста).

Наряду с конусом обобщения для каждого значения a орграфа $Gv(\tau)$ определим *элементарный орграф детализации* или *конус детализации* $Gv^{\downarrow}(\tau | a)$, который является фрагментом $Gv(\tau)$ и содержит все смысловые траектории, заканчивающиеся на a . Любой конус детализации является орграфом значений. Конус детализации определен для любой вершины орграфа значений. Для терминальных вершин он максимальный. Минимальные размеры конусы детализации имеют для базовых вершин и состоят из самой базовой вершины. Структурная энергия, формирующая активность значения a , определенным образом распространяется внутри конуса детализации $Gv^{\downarrow}(\tau | a)$.

Если будет активно значение «овощ» в рамках орграфа $Gv(\text{Растения})$, то могут стать активными (возможно, с разной степенью активности) значения «помидор» и «огурец», так как

$$Gv^{\downarrow}(\text{Растения} | \text{Овощ}) = \{\text{помидор} \rightarrow \text{овощ}; \text{огурец} \rightarrow \text{овощ}\}.$$

Конус детализации терминальной вершины орграфа значений представляет собой не что иное, как полную *область притяжения вершины-аттрактора* (точечный аттрактор). На рис. 1, \bar{b} показан пример

«физического» конуса детализации с точечным аттрактором (черная вершина).

Предложение 6. Конус детализации $Gv^\downarrow(\tau|b)$ не имеет альтернативных значений тогда и только тогда, когда у него единственное базовое значение.

Условие предложения 6 означает, что конус детализации совпадает с конусом обобщения $Gv^\uparrow(\tau|a)$, где a — базовое значение.

Не вдаваясь в детали, можно утверждать, что имеются существенные различия в характере распространения структурной энергии внутри конуса обобщения и конуса детализации. В ряде приложений для распространения энергии в конусе детализации могут применяться модели *диффузии* или *перколяции* («просачивания»), в частности *волновой перколяции*. В качестве обобщенных фрактальных фронтов могут выступать скорлупы Мандельброта, а в качестве лучей — стримеры («лохматые» фракталы). Совокупность вершин-значений, по которым происходит «протекание» энергии, называется *перколяционным кластером*. Кластер, соединяющий конусообразующую вершину и любую базовую вершину, называется *перколяционным* или *соединяющим*.

Пусть a_i ($i = 1, \dots, n$) — базовые значения орграфа $Gv(\tau)$, соответственно $Gv^\uparrow(\tau|a_i)$ ($i = 1, \dots, n$) — конусы обобщений базовых значений. Пусть b_i ($i = 1, \dots, m$) — терминальные значения орграфа $Gv(\tau)$, соответственно $Gv^\downarrow(\tau|b_i)$ ($i = 1, \dots, m$) — конусы детализации терминальных значений.

Предложение 7. Любой орграф значений $Gv(\tau)$ одновременно представим в виде структурной композиции конусов обобщения всех базовых значений и в виде структурной композиции конусов детализации всех терминальных значений, а именно:

$$Gv(\tau) = \otimes_{i=1, \dots, n} Gv^\uparrow(\tau|a_i) = \otimes_{i=1, \dots, m} Gv^\downarrow(\tau|b_i). \quad (2)$$

Под структурной композицией понимается объединение совпадающих частей орграфов (энергия при этом не рассматривается). Примеры:

$$Gv(x) = Gv^\downarrow(x|5) \otimes Gv^\downarrow(x|12) = Gv^\uparrow(x|1) \otimes Gv^\uparrow(x|9).$$

$$\begin{aligned} Gv(\text{Возраст-}B) &= Gv^\downarrow(B|\text{допенсионный}) \otimes Gv^\downarrow(B|\text{пенсионный}) = \\ &= Gv^\uparrow(B|14) \otimes Gv^\uparrow(B|30) \otimes Gv^\uparrow(B|70). \end{aligned}$$

Ясно теперь, как происходит «созревание» орграфов доменов тестов [16]. При появлении нового базового значения теста «Возраст», например «20», можно предположить, что до момента созревания конуса $Gv^\uparrow(B|20)$ активизируются ближайшие конусы $Gv^\uparrow(B|14)$ и $Gv^\uparrow(B|30)$, несмотря на альтернативность (по умолчанию) базовых значений.

Конусы $Gv^\uparrow(\tau|a)$ и $Gv^\downarrow(\tau|a)$ образуют *элементарное пространство смыслов* для значения a . Следует отметить, что для описания как конусов детализации, так и конусов обобщения могут применяться p -адические деревья (пример показан на рис. 2, а) [10]. Каждая точка бифуркации на

дереве — это вершина-значение. Собственно сам термин «конус» возник благодаря визуальной конструкции иерархических, в частности, p -адических деревьев.

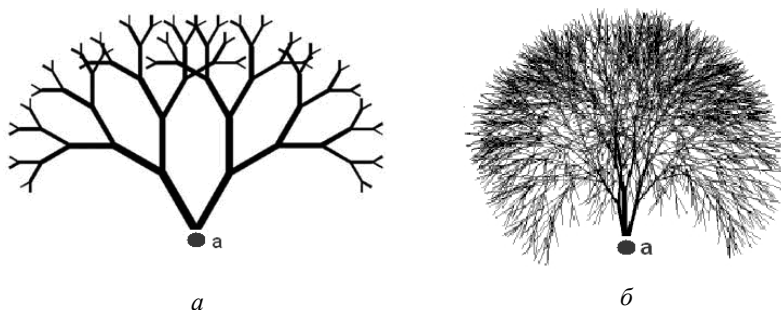


Рис. 2. Конусы обобщения/детализации для значения a на основе:
 a — p -адического дерева; b — стохастического дерева

Для описания конусов обобщения и детализации можно применять стохастические деревья, обладающие случайной ветвистостью на иерархиях, например стохастические деревья Кейли (рис. 2, b) [10–14].

Структурная неустойчивость орграфов значений

Рассмотрим особенности влияния структурной энергии (проводимости связей) на представление орграфов значений в виде структурной композиции элементарных орграфов. На рис. 3 показан орграф значений $Gv(w)$ с различной проводимостью структурной энергии в моменты времени t и t' . Рядом со связями указан определенный коэффициент *силы энергетической связи* между значениями (в зависимости от задачи силу связи можно трактовать по-разному). Если сила связи нулевая, то это будет означать, что связь временно *неактивна*, в остальных случаях связи активны. Неактивность связи можно трактовать как временное «забывание» связи (разновидность структурной деградации).

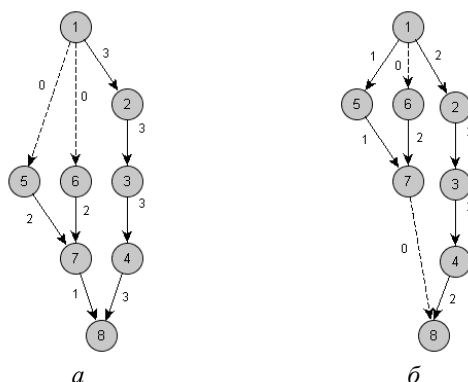


Рис. 3. Пример орграфа значений с разной проводимостью структурной энергии:
 a — $Gv_t(w)$; b — $Gv_{t'}(w)$

Неактивность связей изменяет распределение начальных, внутренних и терминальных вершин. Так в орграфе $Gv_t(w)$ внутренние вершины 5, 6 становятся начальными. В орграфе $Gv_{t'}(w)$ внутренняя вершина 7 становится

терминальной, а вершина 6 — начальной. Первичное композиционное представление орграфа $Gv(w)$ имеет вид

$$Gv(w) = Gv^{\downarrow}(w|8) = Gv^{\uparrow}(w|1).$$

Следовательно, $Gv(w)$ в начальный момент времени является одновременно и конусом обобщения и конусом детализации. Композиционное представление орграфа в моменты времени t и t' будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} Gv_t(w) &= Gv_t^{\downarrow}(w|8) = Gv_t^{\uparrow}(w|1) \otimes Gv_t^{\uparrow}(w|5) \otimes Gv_t^{\uparrow}(w|6); \\ Gv_{t'}(w) &= Gv_{t'}^{\downarrow}(w|8) \otimes Gv_{t'}^{\downarrow}(w|7) = Gv_{t'}^{\uparrow}(w|1) \otimes Gv_{t'}^{\uparrow}(w|6). \end{aligned}$$

Динамика изменения проводимости связей определяется многими факторами, главными из которых являются: частота использования теста в описании тех или иных ситуаций (при частом использовании все связи активны); участие отдельных значений в тех или иных идеальных закономерностях (синдромах, предвестниках); включенность отдельных значений в критические структуры, например домены, наброски (экстремальные пограничные слои набросков) или системопаттерны (критические пути) [16, 17].

В некотором смысле «энергия» того же рода абстракция, что и «вещество»: они взаимно переходят друг в друга. Действительно, как видно из представленных выше примеров распределение структурной энергии в орграфе значений активно влияет на структурогенез орграфа. Уменьшение энергии или ее отсутствие ведет к потере («забыванию») части орграфа и, наоборот, большое количество энергии в тех или иных частях орграфа ведет к вспоминанию или появлению новых связей и значений.

Схема формирования обобщенных репрезентаций образа

Конус детализации терминальной вершины орграфа значений представляет собой не что иное, как полную *область притяжения вершины-аттрактора* (точечный аттрактор, рис. 1, б). Таким образом, орграфы значений позволяют применять важнейшие понятия нелинейной динамики, такие как «траектории», «воронки притяжения», «аттракторы» и др. [12]. Следует отметить также высокую *робастность* процессов на основе конусов детализации. Действительно, какая бы часть конуса детализации не была заблокирована (удалена, поражена) активность значений оставшейся части всегда дойдет до окрестности конусообразующей вершины, а именно они скорее всего будут участвовать в формировании предельных идеальных закономерностей [16, 17].

Пусть образ описывается с помощью девяти тестов, каждый из которых представлен элементарным конусом детализации (рис. 4). *Наброском образа* будем называть совокупность любых девяти значений тестов. Возбуждение первичного образа — наброска $P_0 = \{a\}$ приводит, в частности, к возбуждению всех девяти терминальных вершин — аттрактора процесса распространения структурной энергии (центральный круг из светлых

вершин). Конусы детализации в совокупности образуют область притяжения аттрактора.

Аттрактор (притягивающее множество) является финитным (предельно обобщенным) наброском любого первичного наброска образа $P_0 = \{a\}$. Если он будет одновременно и уникальным наброском (в рамках некоторой базы прецедентов), то он будет самой энергетически экономной репрезентацией образа. Если финитный аттрактор не является уникальным, то существуют критические наброски-аттракторы [16].

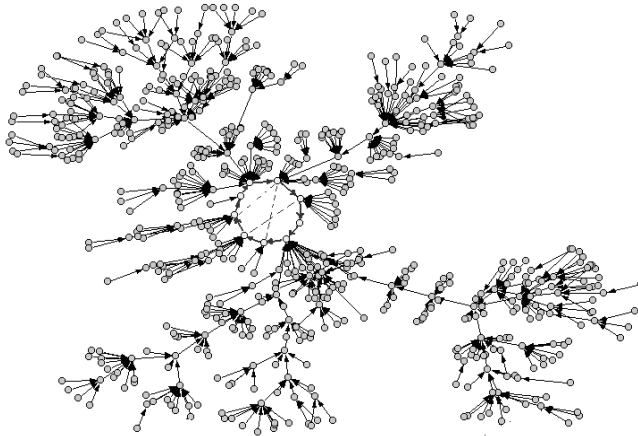


Рис.4. Репрезентация образа

На рис. 4 показаны связи между значениями аттрактора (светлые вершины). Эти связи-системопаттерны (включая пунктирные линии) не относятся к типу «обобщение — детализация». Они могут отображать как циркуляцию структурной энергии вдоль аттрактора (предельный цикл, странный аттрактор), так и возможность «запуска» аттрактора определенными его фрагментами. Эти фрагменты определяются предельными идеальными закономерностями (предельными синдромами) [16, 17].

Важно отметить, что активация первичного наброска образа (произвольные значения девяти тестов) приведет к одновременной активации девяти конусов обобщения. В качестве конусообразующих значений будут выступать значения первичного наброска. Это означает, что итоговая репрезентация образа является *суперпозицией всех набросков*, принадлежащих конусам обобщения (при рекогерентном рассмотрении). Общее количество таких набросков определяется выражением

$$M = \prod_{i=1, \dots, n} |Gv^{\uparrow}(\tau_i a_i)|, \quad (3)$$

где n — число тестов (в примере $n = 9$); a_i — значение i -го теста в первичном наброске P_0 . Полное множество набросков $\{P\}$ индуцированных первичным наброском $P_0 = \{a\}$ можно представить как прямое произведение конусов обобщений (полное множество кортежей, в каждом из которых по одному значению всех тестов с учетом активности):

$$\{P\}_{\{a\}} = Gv^{\uparrow}(\tau_1|a_1) \times_e Gv^{\uparrow}(\tau_2|a_2) \times_e \dots \times_e Gv^{\uparrow}(\tau_n|a_n). \quad (4)$$

Активность значений отдельных тестов наброска $P = \langle\langle \tau_1, e_1 \rangle, \dots, \tau_n, e_n \rangle\rangle$ с учетом механизма усиления — торможения определяет активность наброска в целом (в этом смысл операции « \times_e »). В итоге разные наброски имеют разную активность. Все наброски (4) образуют оргграф набросков вида $Gs(W) = \{P \rightarrow_e P'\}_W$, где $W = P_0$ [16, 17]. В работе [16] показано, что в рамках оргграфа $Gs(W)$ имеет место степенной закон распределения активности или *самоорганизующаяся критичность*, которая определяется базой прецедентов (максимальная активность приходится на критические наброски).

Набросок P_0 является самым точным, все остальные наброски являются его обобщением. Финитные или предельно обобщенные наброски образуются путем сочетания терминальных значений конусов $Gv^{\uparrow}(\tau_i|a_i)$. Управляя градиентом перераспределения энергии в сторону набросков из окрестности P_0 или в сторону финитных набросков, можно добиться большей или меньшей четкости образа. Сужение области активных набросков (коллапс, редукция волновой/энергетической функции, фазовый переход) требует развитого механизма «усиление — торможение» и значительных затрат энергии (на работу этого механизма). Сужение или коллапс активной области до одного наброска лежит в основе механизма *осознания*. Подобный механизм развился в процессе эволюции, по всей видимости, только у человека, что привело к *логической форме мышления* (управляемому переходу между единичными набросками разных образов). Тот факт, что подобное сужение (коллапс) требует относительно много (психической) энергии, объясняет сложности обучения аналитической деятельности в любой профессии.

В общем случае первичный образ $P_0 = \{a\}$ может содержать не одно, а несколько значений каждого теста (см. пример с тестом «Возраст»). Выражение (4) для общего случая примет вид

$$\{P\}_{\{a\}} = (\otimes_{j=1, \dots, k_1} Gv^{\uparrow}(\tau_1|a_{1,j})) \times_e \dots \times_e (\otimes_{j=1, \dots, k_n} Gv^{\uparrow}(\tau_n|a_{n,j})), \quad (5)$$

где $a_{i,j}$ — j -е значение i -го теста в образе P_0 . Максимальное пространство набросков $\{P\}$ на основе банка оргграфов значений $\{Gv(\tau)\}$ (системы координат) определяется выражением

$$\{P\} = Gv(\tau_1) \times Gv(\tau_2) \times \dots \times Gv(\tau_n). \quad (6)$$

Колебания распределения энергии на множестве набросков (4) или (5) могут быть интерпретированы как разновидность *субъективных переживаний*. В общем случае нужно учитывать также активность отрицаний альтернативных значений. Выражения (3)–(6) олицетворяют принцип структурной когерентности на уровне образа. В работе [16] рассматривалась структурная когерентность также на уровне оргграфов доменов, оргграфов набросков и функциональных систем (сред радикалов).

Один из центральных тезисов синергетики состоит в дискретности

возможных состояний, в которые может переходить система в процессе эволюции, а также заданность, ограниченность их числа. Наличие спектра потенциально возможных устойчивых структур-аттракторов в когнитивной репрезентации модальности, образа (критические наброски) есть просто иное, переформулированное отображение идеи дискретности. На рис. 1, б и рис. 4 аттрактор выглядит как схождение смысловых траекторий к одной точке или замкнутой петле (странному аттрактору), в пределах которой колеблется состояние когнитивной системы. В синергетике говорят о конусе притяжения аттрактора, который как бы затягивает в себя множество возможных траекторий системы, определяемых разными начальными условиями. Воронка притяжения стягивает разрозненные исходные линии смысловых траекторий в общий, все более узкий пучок.

Восприятие как предвосхищение или адаптивный резонанс

Понятие адаптивного резонанса при восприятии впервые ввел Гроссберг [15]: «идентификация и распознавание объекта получается в результате взаимодействия ожиданий «сверху — вниз» и сенсорной информации «снизу — вверх». Ожидания рассматриваются как память, которая сопоставляется с реально поступающей «снизу — вверх» сенсорной информацией». Раскроем суть данного механизма с помощью предложенной выше схемы.

Образы второго плана всегда нечеткие. Соответственно и их репрезентация будет строиться с помощью набросков близких к финитным наброскам (возможно разных образов, если наброски относятся к многозначной области — надкритической области [16]). По мере повышения фокусировки происходит перераспределение энергии в орграфе $G_s(W)$ в сторону более точных набросков — это процесс «сверху — вниз» или предвосхищение. Из всего спектра возможных набросков усиление получают те, которые совпадают (резонируют) с обобщением перцептивного образа, формируемого сенсориумом с помощью $\{G_v(\tau)\}$. Если резонанс произошел, то сознание не привлекается (имеет место знакомая ситуация). Если резонанса (совпадения каких-то набросков предвосхищения и перцептивных набросков) нет, то данная ситуация сразу же получает фокус внимания, как незнакомая. Более детально данный механизм описан в [16].

Выводы

Рассмотрение модельных сущностей «орграф значений» и «структурная энергия» позволяет привлечь к описанию идеальных феноменов (когнитивной динамики) мощный арсенал средств нелинейного подхода, а также раскрыть механизм действия принципов предельного обобщения, квантовой семантики, структурной когерентности, адаптивного резонанса как на уровне отдельного орграфа значений, так и на уровне образа. Орграфы значений играют решающую роль в аккумуляции и трансляции структурной энергии внутри самореферентной области, ответственной за когнитивные процессы.

1. Дубровский Д.И. Сознание, мозг, искусственный интеллект / Д.И. Дубровский. — М. : Стратегия-Центр, 2007. — 272 с.
Dudrovsky D.I. *Consciousness, the Brain, Artificial Intelligence*. Moscow: Strategy — Center, 2007. 272 p.
2. Лисин А.И. Идеальное: Общая теория идеальности материи / А.И. Лисин. М. : Икар, 2012. — 808 с.
Lisin A.I. *The ideality as the immanency of the matter: general theory*. Moscow: Ikar, 2012. 808 p.
3. Философия науки. Вып. 12 : Феномен сознания. — М. : ИФ РАН, 2006. – 234 с.
Philosophy of Science, Vol. 12. The phenomenon of consciousness. Moscow: Institute of Philosophy of the RAS, 2006. 234 p.
4. Ivanitsky A.M. Consciousness: criteria and possible mechanisms. *Int. J. Psychophysiol.*, 14, 1993. pp. 179–187.
5. Rabinovich Z, Belov Yu. Consciousness, Sub-consciousness and Emotions, Soul and KDS. *Int. Journal “Information Technologies and Knowledge”*, 2007, vol. 1, no. 2, pp. 152–158.
6. Chalmers D. *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*. Oxford: Oxford University Press, 1996. 432 p.
7. Deutsch D. *The Beginning of Infinity: Explanations That Transform the World*. London: Allen Lane, 2011. 496 p.
8. Penrose R. *Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness*, Oxford: Oxford University Press, 1994. 457 p.
9. Haken H. *Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems*. New York: Springer-Verlag, 2000. 272 p.
10. Khrennikov A. Yu. Description of the operation of the human subconscious by means of p-adic dynamical systems. *Dokl. Akad. Nauk*, 1999, vol. 365, pp. 458–460.
11. Kampis G. *Self-Modifying Systems in Biology and Cognitive Science*. Oxford: Pergamon Press, 1991. 565 p.
12. Gros C. *Complex and Adaptive Dynamical Systems. A Primer*. 2nd ed. Springer Publ., 2011. 326 p.
13. *Fractals of Brain, Fractals of Mind: In search of a symmetry bond* (Earl Mac Cormac and Maxim I. Stamenov, eds. [Advances in Consciousness Research, 7]. Amsterdam: John Benjamins Publishing Co, 1996. 359 pp.
14. Dixon J.A., Holden, J.G., Mirman D., Stephen, D.G. Multifractal Dynamics in the Emergence of Cognitive Structure. *Topics in Cognitive Science*, 2012, vol. 4, pp 51–62.
15. Grossberg S. Adaptive Resonance Theory: How a brain learns to consciously attend, learn, and recognize a changing world. *Neural Networks*, 2012, vol. 37, pp 1–47.
16. Прокопчук Ю.А. Принцип предельных обобщений: методология, задачи, приложения : монография / Ю.А. Прокопчук. — Днепропетровск : ИТМ НАНУ и НККАУ, 2012. — 384 с.
Prokopchuk Yu.A. *Principle of Limiting Generalizations: Methodology, Problems, and Applications*. Monograph. Dnepropetrovsk: Institute of Technical Mechanics of the NAS and the State Space Agency of Ukraine, 2012. 384 p.
17. Прокопчук Ю.А. Модели когнитивных архитектур и процессов на основе парадигмы предельных обобщений / Ю.А. Прокопчук // Кибернетика и вычисл. техника. – Вып. 171. — С. 37–51.
Prokopchuk Yu.A. Models of cognitive architectures and processes on the basis of a paradigm of limiting generalizations. *Cybernetics and computer engineering*, 2013, vol. 171, pp. 37–51.
18. Прокопчук Ю.А. Когнитивная модель деятельности // *Индуктивне моделювання складних систем*. — 2012. — Вып. 4. — С. 177–188.
Prokopchuk Yu. Cognitive model of activity. *Inductive modeling of complex systems*. Kyiv: IRTC ITS NAS and MES of Ukraine, 2012, vol. 4, pp. 177–188.

Получено 22.04.2013