



СПИРАЛЬНАЯ КОГНИТИВНАЯ МЕТАДИНАМИКА: ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

УДК 519+61:681.3

ПРОКОПЧУК Юрий Александрович

к.ф.-м.н., доцент, с.н.с. отдела системного анализа и проблем управления Института технической механики НАНУ и ГКАУ, доцент кафедры специализированных компьютерных систем Украинского государственного химико-технологического университета, зав. центром телемедицины Днепропетровского областного центра кардиологии и кардиохирургии.

Научные интересы: интеллектуальные и когнитивные системы, базы знаний

e-mail: itk3@ukr.net

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа продолжает серию работ в рамках новой посткибернетической парадигмы системологии — парадигмы предельных обобщений (ППО), предложившей новый подход к решению проблем познания, научного понимания и рационального объяснения феномена сложности открытых когнитивных систем (естественных и гибридных) [1 - 6]. ППО имеет глубокие методологические основания, адекватную метатехнологию, собственный теоретический аппарат. Центральным объектом изучения данной работы является эволюционный процесс возникновения метакогнитивной сложности, выразителем которого служит спиральная когнитивная метадинамика, а также пути реализации рассмотренных архитектур и процессов в информационных технологиях. Впервые концепция спиральной когнитивной динамики была предложена автором на конференции «Biologically Inspired Cognitive Architectures – BICA» [1].

Развиваемый формализм опирается на методологические разработки эволюционно-синергетической модели мира философов, психологов, биологов, кибернетиков прошлого и современности [7-14]. Так американским психологом Клэр Грейвзом (Clare W. Graves) в середине прошлого века создана теория спиральной динамики (СД), которая в дальнейшем развивалась его

учениками Доном Беком и Крисом Кованом [7]. Суть СД такова: человек и человечество непрерывно развиваются и изменяются — меняется способ мыслить и связанное с ним восприятие мира за счет строительства новых, более сложных, концептуальных моделей мира, которые позволяют им справиться с новыми проблемами. Явления, происходящие в каждом витке спирали, аналогичны явлениям предшествующего и стоящего ниже витка, но не тождественны. В этом залог социальной и интеллектуальной эволюции. Недостатком теории СД является отсутствие каких-либо формальных моделей, что препятствует ее внедрению в рамках развивающихся информационных технологий.

Весьма полезной является метатехнология реконструктивного анализа [8], связанная с порождением формальных объектов (конструктов-референтов), раскрывающих в объяснительных схемах, геометрических образах и формальных моделях саморазвертывание внешних форм проявляющейся сущности феномена системы. В рамках ППО создана собственная метатехнология реконструктивного анализа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными задачами исследования являются:

— построение полного набора взаимосвязанных моделей репрезентативных структур; изучение особенностей конкуренции и селекции структур;

- изучение коллективных процессов активности, синхронизации, десинхронизации и управления в нейроморфных динамических сетях; построение модели динамического ядра;

- построение формальной модели спиральной когнитивной метадинамики, сравнение модели с теорией нейродарвинизма Дж. Эдельмана;

- уточнение операционального аспекта парадигмы предельных обобщений.

- демонстрация с помощью программных прототипов возможности реализации предложенных структур в рамках информационных приложений.

В качестве информационных приложений можно рассматривать госпитальные системы, корпоративные и образовательные системы, интеллектуальные среды, например телемедицинские и т.д. [6].

НАБОР РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ СТРУКТУР

Для решения поставленных задач в рамках парадигмы предельных обобщений сформирован полный набор репрезентативных структур (сущностей). К числу базовых структур-сущностей относятся [3, 4]:

- элементарный тест или модальность τ , Z-задача различения;

- оргграф значений теста $G_V(\tau)$, оргграф доменов теста $G(\tau)$, оргграф набросков образа $G_S(W)$, критические наброски; конус и окрестность обобщения, конус и окрестность детализации;

- динамический системопаттерн f/μ , идеальная V и вероятностная R закономерности, синдром S , предельный синдром S^* , радикал, системоквант;

- структурная энергия e (активность); динамическое ядро, аттракторы;

- модель знаний $\{V\}$, среда радикалов, функциональная система;

- модуль компетентности, слой познания, спираль усложнения.

Системопаттерны образуют каналы движения структурной энергии. Структурная энергия превращает любой объект ментальной сферы в "когнитивную структуру под напряжением" (structure cognitive sous tension) [13]. Оргграфы представляют собой специфический набор пространственно-временных структур фрактальной природы («Фракталом называется струк-

тура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому» В.В.Мандельброт, 1975).

Элементарным тестом называются произвольные модальности, характеристики, категории, свойства, качества, квалиа (qualia), признаки явлений действительности и субъективной реальности. Тесты отвечают за первичное различение (коды-различения) [2]. Любой тест может принимать определенные значения. Под значениями понимаются как собственно значения, а также коды, метки, пейсмекеры, ссылки, указатели на комплексные структуры и процессы. Множество значений теста τ обозначим $\{\tau\}$.

Множество значений теста τ с обобщающими связями называется *орграфом значений* и обозначается $G_V(\tau) = \{a \rightarrow_e b\}_\tau$, где a, b – значения теста (b обобщает a ; a детализирует b); e – структурная энергия. Фундаментальная триада ($a \rightarrow_e b$), реализуя *сильные связи*, является простейшим системопаттерном и базовым конструктором смысла. Первичные оргграфы значений определяются генетикой системы и описывают трансляцию энергии (движение информации) от сенсориума к высшим когнитивным уровням: рецепция первичных сигналов, их доставка в центры обработки (восходящая рефлекторная дуга).

Если на базовые значения одного теста наложить ограничение целостности и проследить эволюцию данной целостности (домена) в процессе обобщения, то получим *орграф доменов теста* $G(\tau) = \{T \rightarrow_e T'\}_\tau$, где T, T' – домены; e – структурная энергия. Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста τ используется домен T , будем использовать нотацию: τ/T . Совокупная смысловая область элементов домена–потомка полностью совпадает с совокупной смысловой областью элементов домена–предка. *Конфигуратором теста* называется процедурная реализация оргграфа доменов. Будем говорить, что домен T' *доминирует* домен T в рамках оргграфа $G(\tau)$, если они не совпадают и существует путь $T \rightarrow \dots \rightarrow T'$. Доминирование обозначим нотацией: $T < T'$.

Если ограничение целостности наложить на группу значений разных тестов и проследить эволюцию данной целостности (образа, наброска) в процессе обобщения, то получим *орграф набросков образа* $G_S(W) = \{P \rightarrow_e P'\}_W$, где W – произвольное явление

действительности или образ; P, P' - наброски; e – структурная энергия (проводимость связи). Причем $|I(P')| < |I(P)|$, где I – оператор вычисления информации. Любой набросок P при декогерентном рассмотрении является динамической структурой, например аттрактором, суррогатной моделью или множеством значений тестов $\{\underline{x}\}_P$ (точечным аттрактором). Для одного и того же образа W могут быть построены орграфы набросков разных типов. Каждому типу соответствует свой оператор I . Орграф доменов является частным случаем орграфа набросков. Будем говорить, что набросок P' доминирует набросок P в рамках орграфа $G_S(W)$, если они не совпадают и существует путь $P \rightarrow \dots \rightarrow P'$. Доминирование обозначим нотацией: $P < P'$. Благодаря орграфам набросков развились такие способы отслеживания каузальной структуры окружающего мира, при которых не происходит перегрузки системы хранения и переработки информации. Преимуществом информативно-бедных каузальных репрезентаций (набросков высокого уровня обобщения) является их крайне быстрая развертка. Отрицательной стороной является иллюзия знания – «мы думаем, что знаем» (иллюзия глубокого понимания сути чего-либо). Орграфы набросков создают «внутреннюю имитацию» ожидаемого входного мультимодального сенсорного сигнала разного уровня обобщенности.

Орграфы набросков являются примером когнитивной категоризации. Следует отметить, что Даниэл Деннет (Dennett, Daniel, американский философ) предложил «модель многократных набросков» [9], согласно которой ментальная активность в мозге осуществляется в виде параллельных и перекрещивающихся процессов выбора, ревизии и интерпретации получаемой чувственной информации. Каждая такая интерпретация гипотетична и может мгновенно сменяться другой, более соответствующей реальной ситуации.

Для целей настоящего исследования важнейшим свойством орграфов набросков является тот факт, что если набросок рассматривать как целое (осцилляторную моду), то орграф набросков переходит в орграф значений, реализуя метапереход или «акт означивания» (акт символизации). Ясно, что возможен и обратный переход. Результатом является фрактальная структура усложняющихся орграфов.

Для каждого значения \underline{x} орграфа $G_V(\tau)$ определен конус обобщения $G_V^\uparrow(\underline{x})$, который является фрагментом $G_V(\tau)$ и содержит все траектории обобщения (смысловые траектории), начинающиеся с \underline{x} (в том числе и само значение \underline{x}), а также определен конус детализации $G_V^\downarrow(\underline{x})$, который содержит все смысловые траектории, заканчивающиеся на \underline{x} . Аналогично определяются конус обобщения $G_S^\uparrow(P/W)$ и конус детализации $G_S^\downarrow(P/W)$. Для любого значения \underline{x}/T в рамках орграфа доменов $G(\tau)$ определен конус детализации $G^\downarrow(\underline{x}/T) = \{a/A \mid a/A \rightarrow_c \underline{x}/T\}$ и конус обобщения $G^\uparrow(\underline{x}/T) = \{a/A \mid \underline{x}/T \rightarrow_c a/A\}$. Поскольку орграф доменов является разновидностью орграфа набросков, то для него определены также $G_S^\uparrow(T|\tau)$ и $G_S^\downarrow(T|\tau)$. С введением сущности «конус обобщения» появляется возможность уточнить специфику распространения структурной энергии, а именно: активность значения \underline{x} или наброска P распространяется по всему конусу обобщения. 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 (синхронизации) на уровне орграфов значений, доменов, набросков [5]. Для моделей распространения энергии в конусе детализации могут применяться модели диффузии или перколяции: «доставка» принятого решения «вниз», к исполнительным органам (нисходящая рефлекторная дуга)

Для построения модели динамики распространения активности введем понятие окрестности обобщения значения \underline{x} и произвольной группы значений $\{\underline{x}\}$ в рамках орграфа $G_V(\tau)$

$$O^\uparrow(\underline{x}) = \{b \mid (\underline{x} \rightarrow_e b) \in G_V(\tau)\};$$

$$O^\uparrow(\{\underline{x}\}) = (\cup_{\underline{x}} O^\uparrow(\underline{x})) \setminus \{\underline{x}\}. \quad (1)$$

Пример. Пусть $G_V(\tau) = \{a \rightarrow b \rightarrow c\}$, тогда $O^\uparrow(a) = b$, $O^\uparrow(\{a, b\}) = c$, $O^\uparrow(\{a, b, c\}) = \emptyset$. Для терминальных вершин окрестности обобщения – пустые множества.

Одна из моделей динамики распространения активности в орграфе значений может быть следующей:

$$\forall \{\underline{x}_0 \subseteq G_V(\tau), \{\underline{x}_{n+1} = \{\underline{x}_n \cup O^\uparrow(\{\underline{x}_n\}),$$

$$n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Связь между окрестностями и конусами обобщения устанавливается следующим предложением.

Предложение 1. $\forall \{\underline{\tau}\}_0 \subseteq Gv(\tau), \exists! \{a\} \subseteq \{\underline{\tau}\}_0$:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \{\underline{\tau}\}_n = \cup_{\{a\}} Gv^\uparrow(a) \quad (3)$$

Модели окрестностей обобщения и динамики пространства активности очевидным образом обобщаются на случай орграфа набросков $Gs(W) - O^\uparrow(P), O^\uparrow(\{P\}), \{P\}_n$. Соответственно обобщается и результат предложения 1.

Предложение 2. $\forall \{P\} \subseteq Gs(W), \exists! \{Q\} \subseteq \{P\}$:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \{P\}_n = \cup_{\{Q\}} Gs^\uparrow(Q) \quad (4)$$

Для уточнения анизотропии распространения (диффузии) активности полезно также ввести понятие *окрестности детализации*:

$$\begin{aligned} O^\downarrow(\underline{\tau}) &= \{b \mid (b \rightarrow_e \underline{\tau}) \in Gv(\tau); \\ O^\downarrow(P) &= \{P' \mid (P' \rightarrow_e P) \in Gs(W)\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Аналог *тензора диффузии* во фрактальной среде, иллюстрирующий *анизотропию диффузии энергии* в рамках $Gv(\tau)$ или $Gs(W)$, можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} D(\underline{\tau}) &= O^\uparrow(\underline{\tau}) \cup O^\downarrow(\underline{\tau}); \\ D(P) &= O^\uparrow(P) \cup O^\downarrow(P). \end{aligned} \quad (6)$$

Анизотропия проявляется в различии распространения энергии в окрестности обобщения и окрестности детализации. В каждой точке среды ($\underline{\tau}$ или P) тензор диффузии свой.

Примечание 1. При полном анализе распространения активности во фрактальной среде необходимо иметь ввиду эффекты отражения, переотражения и интерференции волн активности [2].

Примечание 2. Современные разработки методов нейровизуализации позволили использовать трехмерную информацию, получаемую при проведении диффузионной тензорной магнитно-резонансной томографии (DTI – diffusion – tensor imaging), для построения виртуальных траекторий волокон, отражающих ориентацию и целостность проводящих путей головного мозга [11]. Тензор диффузии определяется величиной и направлением диффузии молекул воды в трехмерном пространстве, позволяя получить данные о величине анизотропии и направления диффузии в каждом вокселе, обла-

дающем трехмерными координатами. Из значений тензора вычисляются некоторые скалярные индексы (средняя диффузионная способность – MD; фракционная анизотропия – FA). Эти значения тензора могут отражать структурные поломки и специфические патологические процессы. По ориентации эллипсоидов диффузии в вокселях определяют ход нервных волокон, образующих нервные тракты, соединяя друг с другом собственные векторы диффузионного тензора.

Полное множество набросков $\{P\}$ (осцилляторных мод) явления W индуцированных первичным наброском $P_0 = \{\underline{\tau}\}$ можно представить как прямое произведение конусов обобщений (полное множество кортежей, в каждом из которых по одному значению всех тестов с учетом активности) [4]

$$\{P\}_{\{\underline{\tau}\}} = Gv^\uparrow(\underline{\tau}_1) \times_e Gv^\uparrow(\underline{\tau}_2) \times_e \dots \times_e Gv^\uparrow(\underline{\tau}_n). \quad (7)$$

Активность значений отдельных тестов наброска $P = \langle \langle \underline{\tau}_1, e_1 \rangle, \dots, \langle \underline{\tau}_n, e_n \rangle \rangle$ с учетом механизма «усиления - торможения» определяет активность наброска в целом (в этом смысл операции « \times_e »). Ясно, что $\{P\}_{\{\underline{\tau}\}}$ совпадает с множеством вершин орграфа $Gs^\uparrow(P_0/W)$.

Набросок P_0 является самым точным, все остальные наброски являются его обобщением. Финитные или предельно обобщенные наброски образуются путем сочетания терминальных значений конусов $Gv^\uparrow(\underline{\tau}_i)$. 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, динамическое ядро) требует развитого механизма «усиление-торможение» и значительных затрат энергии на работу этого механизма. Сужение или коллапс активной области до одного или нескольких набросков лежит в основе механизма *осознания*, что эволюционно привело к *логической форме мышления* (управляемому переходу между единичными набросками разных образов).

Осцилляторная модуляция облегчает установление синхронности в пределах больших расстояний между когнитивными структурами. Орграф набросков – это сильные дискретные связи в орграфах значений и динамическая синхронизация между разными сетями – орграфами значений («склеивание» признаков сти-

мула). Энергетический ландшафт на основе орграфа набросков показывает сосуществование осцилляторных мод (набросков, паттернов) и конкуренцию между ними. Он позволяет исследовать фазовые (качественные) переходы между различными типами осцилляторной активности. Показано [2], что энергия распределяется по осцилляторным модам согласно степенному закону (имеет место самоорганизующаяся критичность): максимум приходится на *критические наброски* (наброски, которые нельзя обобщить без потери однозначности заключения). Нейродинамические феномены синхронизации и групповой осцилляторной активности являются инструментальным средством мозга в решении задач восприятия и сенсомоторной координации [11, 12]. Сосуществование двух типов синхронизированной активности - когерентной и с фазовым сдвигом позволяет нервной системе реализовать жизненно важные функции организмов. Дуализм дискретности и непрерывности (осцилляторной активности) в моделях орграфов позволяет провести определенную аналогию с корпускулярно-волновой теорией света.

Конструируемый формализм, включая принцип структурной когерентности, позволяет прояснить ответы на следующие важные вопросы. Каковы условия переходов сетей активностей из десинхронизированного состояния в синхронизированное и, наоборот? Как объяснить феномен «склеивания», т.е. самоорганизацию ансамблей в целостные представления сцен или двигательные синергии? На рис. 1 представлен пример спонтанной синхронизации («склеивания») в процессе созревания орграфа набросков, который является первичным звеном в целостном представлении сцены. На рис 1в показан фрагмент временной или постоянной десинхронизации (угасание наброска). Каждая вершина-узел является точкой «склеивания» множества орграфов значений. Формальные модели спонтанной динамики формирования орграфов набросков приведены в [3].

Целостное представление сцены опирается также на процессы формирования предельных структур (моделей знаний) и спиральную динамику усложнения орграфов набросков (вплетения сцены в ткань действительности). Об этом пойдет речь ниже.

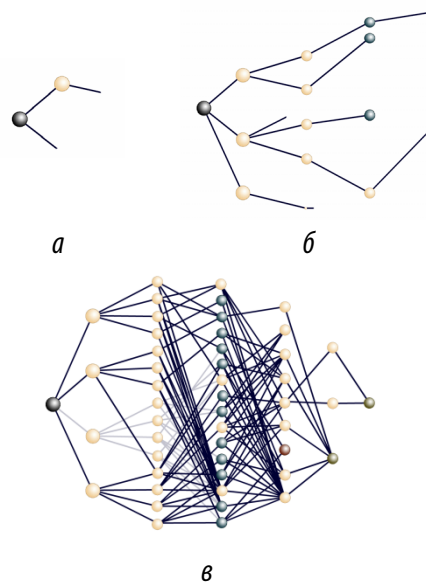


Рисунок 1 – Стадии спонтанного созревания орграфа набросков
а – начальная; б – промежуточная; в – деградации

В совокупности орграфы значений/доменов образуют *банк тестов*: $\{Gv(\tau)\}$ или $\{G(\tau)\}$. Орграфы набросков формируют *банк образов* $\{Gs(W)\}$. Различные комбинации доменов для всех тестов определяют различные уровни обобщенности описания ситуаций действительности. Банк тестов и банк образов обеспечивают переход от физической реальности к феноменологическому пространству (ФП) и образуют иерархию *систем координат* произвольного *ментального многообразия* ФП [3].

Любые преобразования, движения, вывод, импульсы, вычислительные модели в системе координат $\{G(\tau)\}$ можно описать с помощью *динамических системопаттернов* (или просто системопаттернов) вида [2, 3]

$$f/\mu: \{a/A\}, e/E \rightarrow \{b/B\}, \quad \mu \in \{\mu_i\}, \quad (8)$$

где $\{a/A\}$ – входные тесты; $\{b/B\}$ – выходные тесты; e/E – требуемая структурная энергия, ресурсы; μ – механизм реализации. С помощью структурной энергии, в частности, может передаваться возбуждение (активность) в вычислительной среде. В системе координат $\{Gv(\tau)\}$ системопаттерны представляются в виде: $f/\mu: \{a\} \rightarrow_e \{b\}$, где $\{a\}$ – входные тесты; $\{b\}$ – выходные тесты. В системе координат $\{Gs(W)\}$ системопаттерны представляются в виде: $f/\mu: \{p/P\} \rightarrow_e \{p/P'\}$, где $\{p/P\}$ – фрагменты набросков входных образов; $\{p/P'\}$ – фрагменты набросков выходных образов. Преобразования

между доменами ($T \rightarrow_e T'$) или набросками ($P \rightarrow_e P'$) являются разновидностями системопаттернов. В самом общем понимании системопаттерны - это воплощенное *мысль-действие* (квант активности).

Для любого системопаттерна f/μ строится оргграф набросков $Gs(f/\mu)$, что позволяет системно реализовать *метамоделирование* (любой набросок системопаттерна является системопаттерном). Важным свойством системопаттернов является их активность: если системопаттерн запущен, то он самостоятельно может искать значения входных тестов $\{a/A\}$. Реальная скорость выполнения системопаттерна зависит от наличной структурной энергии (ресурсов). Только выполнение автоматизмов не зависит от e/E .

Разновидностями системопаттернов являются системокванты, радикалы [3], вероятностные закономерности [2], идеальные закономерности, синдромы, предельные синдромы. Разные группы системопаттернов могут реализовывать разные агенты. К числу простейших системопаттернов относятся *радикалы*. Радикал может находиться в двух состояниях: активном и пассивном [2] (этим он напоминает значение). Управлять можно только переводом радикала из одного состояния в другое, при этом входные и выходные тесты извне не задаются. На основе радикалов можно строить иерархии *сред радикалов* (СР) и описывать гомеостаз любой системы [2]. Совокупность одновременно активных системопаттернов называется *системоквантом*.

Z-задачи вместе с другими тестами формализуют акты различения (дифференциации) [3]. *Акт различения* - это системоквант "мысль-действия" когнитивной системы, базовая функция наблюдателя, поэтому мыслительный многоконтурный процесс можно свести к замкнутым циклам трансформ различений, превращений одних различений в другие. Для решения той или иной когнитивной задачи (Z-задачи) формируется множество прецедентов с известными исходами $\Omega = \{\alpha(\{z/T\}, z/Z)\}$, где $Z = \{1, \dots, N\}$ - множество заключений (различий, образов, диагнозов, прогнозов, управлений); α - прецеденты; $\{z/T\}$ - множество значений тестов. Множество Z является базовым доменом z-теста с оргграфом $G(z)$, следовательно, любая Z-задача автоматически порождает иерархию более простых Z-

задач (набросков задач). Фиксация Z-задачи создает упреждающую систему категориальных ожиданий, которая подготавливает внимание к сбору информации о признаках объектов.

Функциональная система (ФС) - полная в определенном смысле совокупность системопаттернов, решающая Z-задачу. СР частный случай ФС. Следовательно, в процедурном плане любая Z-задача решается с помощью соответствующей среды радикалов (функциональной системы) [2, 3].

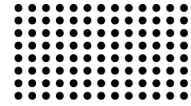
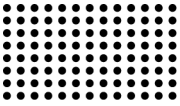
Без потери общности примем, что каждый тест входит в описание прецедента (ситуации действительности) один раз. Через $\Omega(\{z/T\}, Z)$ обозначим априорные описания прецедентов. Множество всех описаний базы прецедентов образует оргграф набросков $\Omega(Z)$, в котором $\Omega(\{z/T\}, Z)$ - отдельный набросок. Можно также рассмотреть оргграф набросков каждого прецедента α , тогда описание $\alpha(\{z/T\}, z/Z)$ - это отдельный набросок. *Контекстом* Z-задачи называется кортеж $K = \langle \Omega(Z), \{G(z)\}, G(z) \rangle$. заданием K любой прецедент *погружается* в контекст K.

Закфиксируем уровень общности $\{z/T\}$. Описание базы прецедентов $\Omega(\{z/T\}, Z)$ называется *конфликтным*, если существуют хотя бы два прецедента $\alpha(\{z/T\}_{\alpha}, z/z_{\alpha})$ и $\beta(\{z/T\}_{\beta}, z/z_{\beta})$ такие, что $\{z/T\}_{\alpha} = \{z/T\}_{\beta}$ но $z_{\alpha} \neq z_{\beta}$. Будем предполагать, что априорное описание $\Omega(\{z/T\}, Z)$ бесконфликтно. Описание базы прецедентов (набросок) называется *критическим* - $\{z/T\}^*$, если оно бесконфликтно, но любое доминирующее описание конфликтно. Остальные бесконфликтные описания-наброски называются *докритическими*. Все конфликтные описания-наброски называются *надкритическими* [2]. Надкритические наброски служат основой для проведения аналогий и переноса, а также «склеивания» различных оргграфов. Критические наброски образуют *экстремальный пограничный слой* в оргграфе набросков. Этот слой является результатом процесса самоорганизующейся критичности в рамках контекста K.

Идеальной закономерностью V в рамках контекста K называется произвольная совокупность значений тестов, позволяющая однозначно установить заключение [3]:

$$V = (\{a/A\} \rightarrow z/Z), \exists \alpha(\{z/T\}_{\alpha}, z/Z) \in \Omega(Z): \{a/A\} \subseteq \{z/T\}_{\alpha}. \quad (9)$$

Компактная запись: $V(\{a/A\}, z/Z)$. Закономерность



является разновидностью системопаттерна и примером *ad hoc гипотезы*. Ее можно трактовать как когнитивный условный рефлекс. Идеальные закономерности связывают между собой орграфы доменов, значений и набросков.

Наряду с идеальными закономерностями имеют место *вероятностные закономерности* $R = (\{a/A\} \rightarrow J_z z/Z)$, где J_z – модификатор истинности заключения. Вероятностные закономерности являются предвестниками событий и участвуют в формировании управления на основе синдромного принципа [2].

Можно показать, что если $V(\{a/A\}, z/Z)$ закономерность в рамках контекста K , то любое множество значений тестов $\cup_{i(a)} \{b/B\} \mid b/B \in G^\downarrow(a/A)$ и любое заключение $z/Z \in G^\uparrow(z/Z)$ образуют закономерность $V(\{b/B\}, z/Z)$ при условии (i): $\exists \alpha \{z/T\}_{ca} z/Z \in \Omega(Z): \{b/B\} \subseteq \{z/T\}_{ca}$. Из данного факта вытекает, что закономерность $V(\{a/A\}, z/Z)$ может привести к ПЕРЕНОСУ (не учету условия (ii)) или квантово-семантическому (QS) запутыванию конусов. Последнее олицетворяет принцип структурной когерентности на множестве закономерностей [5]:

$$QS-V(\{a/A\}, z/Z) = \{\otimes_{i(a)} G^\downarrow(a/A)\} \otimes G^\uparrow(z/Z) \quad (10)$$

Формальным синдромом S (или просто *синдромом*) в рамках контекста K называется избыточная идеальная закономерность. Закономерность $V(\{a/A\}', z/Z)$ *доминирует* закономерность $V(\{a/A\}, z/Z)$, если $\{a'\} \subseteq \{a\}$, $\forall a \in \{a'\}: A \leq A'$ и выполняется хотя бы одно из условий: а) $|\{a'\}| < |\{a\}|$; б) $\exists a \in \{a'\}: A < A'$.

Предельным синдромом S^* в рамках контекста K называется синдром, у которого отсутствуют доминирующие закономерности. Предельные синдромы, выступающие в качестве параметров порядка, используются для организации целенаправленного поведения (синдромный принцип управления) [2].

Синдромы и предельные синдромы являются результатом неосознаваемой *когнитивной категоризации* или обобщения. Обобщение без осознания – это одно из фундаментальных свойств природных когнитивных процессов и памяти [10]. 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.

Множество всех закономерностей в рамках контекста K обозначим через $\{V\}_{Full}$, множество всех синдромов обозначим через $\{S\}_{Full}$, а множество всех предельных синдромов обозначим $\{S^*\}_{Full}$. Ясно, что $\{S^*\}_{Full} \subseteq \{S\}_{Full} \subseteq \{V\}_{Full}$.

Моделью знаний называется произвольное множество закономерностей $\{V\}$, которое позволяет установить заключение как минимум для каждого прецедента из $\Omega(\{z/T_0\}, Z)$.

Эксперименты по изучению обыденного мышления [10] показали, что у людей есть некоторое схематичное, рамочное представление, которое *на лету* создает более содержательную ситуативную теорию (*ad hoc theory*). Модель знаний и представляет собой такую *ad hoc* теорию (теорию «налету»). Использование каузально-релевантной информации может быть очень быстрым процессом.

Модель знаний $\{V\}$ *доминирует* модель знаний $\{V\}$, если она применима к большему числу набросков прецедентов из $\Omega(Z)$, включая и те наброски, к которым применима $\{V\}$. Факт доминирования обозначается нотацией $\{V\} > \{V\}$. Модели знаний $\{V\}$ и $\{V\}$ *эквивалентны в плане доминирования*, если они применимы к одному и тому же множеству набросков прецедентов: $\{V\} \sim \{V\}$. Если для модели знаний $\{V\}$ не существует доминирующая модель, то она *недоминируема*. Если между двумя моделями знаний $\{V\}$ и $\{V\}$ не выполняется отношение доминирования и они не эквивалентны в плане доминирования, то такие модели знаний *несравнимы между собой в плане доминирования*: $\{V\} >< \{V\}$. Модели знаний $\{V\}_{Full}$, $\{S\}_{Full}$ и $\{S^*\}_{Full}$ *недоминируемы* и эквивалентны в плане доминирования [3].

Большой практический интерес представляет поиск всех минимальных (неизбыточных) по составу моделей знаний, которые принадлежат $\{V\}$ и эквивалентны по доминированию $\{V\}$. Однако минимальность можно понимать в двух смыслах: а) минимальность без исключений z ; б) минимальность с исключениями z . Дело в том, что база прецедентов разбивается на фракции следующим образом: $\Omega = \cup_{z \in Z} \Omega(z)$, где $\Omega(z)$ – фракция, содержащая все прецеденты с заключением z . Соответственно и модели знаний разбиваются на

фракции $\{V\} = \cup_{z \in Z} \{V\}_z$. Будем говорить, что фракция $\{V\}_z$ *полная*, если для любой $\alpha(\{z/T_0\}, z/Z)$ существует закономерность $V \in \{V\}_z$, которая применима к α .

Предложение 3. Пусть $N = |Z|$. Произвольная совокупность закономерностей $\{V\}$ является моделью знаний тогда и только тогда, когда существуют полные $N-1$ фракции.

Предложение 4. Для любой совокупности закономерностей $\{V\}$ с полными фракциями справедливо:

- а) $\forall z \in Z, \{V\} \setminus \{V\}_z$ является моделью знаний;
- б) $\forall z \in Z$, модели знаний $\{V\}$ и $\{V\} \setminus \{V\}_z$ эквивалентны по доминированию.

Ясно, что любая модель $\{V\} \setminus \{V\}_z$ содержит меньшее количество закономерностей, чем $\{V\}$. Недостатком модели $\{V\} \setminus \{V\}_z$ является то, что установить заключение для ситуации $\alpha(z/Z)$ можно лишь методом исключения, т.е. проверив и отбросив все закономерности из $\{V\} \setminus \{V\}_z$. Другим недостатком является применение внешнего по отношению к $\{V\}$ логического закона, что для когнитивных моделей не очень хорошо. Таким образом, если при минимизации сохраняется полнота всех фракций $\{V\}$, то имеет место *минимальность без исключений*. На основе $\{V\} \setminus \{V\}_z$ реализуется поиск *минимальных моделей с исключением z*.

Предложение 5. Модель знаний $\{V\}$ минимальна без исключений тогда и только тогда, когда минимальна каждая из N фракций.

Наибольший практический интерес представляет поиск всех минимальных (в обоих смыслах) по составу моделей знаний, которые принадлежат $\{S^*\}_{Full}$ и эквивалентны по доминированию $\{S^*\}_{Full}$. Минимальные модели знаний без исключений обозначим $\{S^*\}_{Full-Min}$. Их поиск может быть выполнен методом исключения части синдромов $\{S^*\}_{Full}$. «Материализация» минимальных моделей в виде СР приводит к ФС когнитивно-поведенческого уровня: « $\{S^*\}_{Full-Min}$ – Среда радикалов» и описывает процесс формирования *имплицитного опыта*. Введем обозначение: $\{S^*\}_{Full-Min} = \cup_{z \in Z} \{S^*\}_z$.

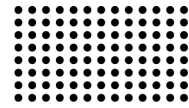
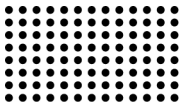
Следствие 1. На базе любой модели $\{S^*\}_{Full-Min}$ определены минимальные модели с исключением z (абсолютно минимальные): $\forall z \in Z, \{S^*\}_{Full-Min} = \{S^*\}_{Full-Min} \setminus \{S^*\}_z$, которые эквивалентны в плане доминирования $\{S^*\}_{Full}$.

Абсолютно минимальные модели знаний являются основой для оптимизации используемых множеств тестов в рамках информационных приложений.

Особенностью моделей знаний является создание более глубоких «внутренних представлений» или «внутренних имитаций» входных сигналов, чем первичные орграфы набросков. С их помощью реализуется вычисление дополнительных признаков об информационном сигнале (множества синдромов) – подсистема кодирования, ориентированная на компактное описание образа, ситуации в пространстве закономерностей: $\forall \alpha(\{z/T\}, z/Z) \rightarrow \alpha(\{S\})$. Появляется возможность выполнения операций для оптимизации принимаемых решений в последующий период (на основе синдромного принципа управления). С их помощью можно описывать простейшие режимы реагирования распознающей системы.

Появление новых прецедентов может привести к фальсификации имеющихся моделей знаний. Однако с накоплением опыта (роста базы прецедентов) фальсификаций должно становиться меньше, следовательно, со временем предельные структуры стремятся к устойчивому или инвариантному состоянию. Фальсификации и дальше могут происходить, но значительно реже и их влияние не столь драматично как в начале, когда изменения могут напоминать когнитивные катастрофы. Именно такие асимптотически инвариантные когнитивные структуры «материализуются» в функциональные системы.

Таким образом, в повторяющемся процессе рекурсивно организованных сенсомоторных актов различения, взаимных возмущений и реакций на возмущения возникают инварианты во взаимоотношениях когнитивных систем с внешней средой. Основатель кибернетики второго порядка (кибернетики наблюдателя) Гейнц фон Фёрстер (von Foerster) назвал подобные инварианты «собственное поведение» (eigenbehavior) [14]. Представления об инвариантах развивались также в рамках *генетической эпистемологии* Жана Пиаже (Piaget, швейцарский психолог, философ и логик, создатель операциональной концепции интеллекта) [10]. Ее основной принцип — возрастание инвариантности знания субъекта об объекте под влиянием изменения условий опыта. Высшей формой уравнивания субъекта и объекта является образование т. н. *операциональных структур*. Операция по Пиаже представляет собой «внутреннее действие» субъекта, генетически про-



изводное от внешнего, предметного действия и скоординированное с другими действиями в определенную систему. Системопаттерны, функциональные системы и среды радикалов с полным основанием могут рассматриваться как искомые операциональные структуры разного масштаба. Однако в отличие от подхода Пиаже в развиваемом формализме нет переоценки роли логического в психоанализе мышления: решающую роль играют спонтанное созревание и селекция.

Модуль компетентности (МК) представляет собой совокупность всех структур в рамках Z-задачи, а именно: $MK_z = \langle K \vee \{G_s(W)\}, \{V\}, \{S\}, \{S^*\}, \{CP/\Phi C\} \rangle_z$. *Орграф МК* – совокупность взаимосвязанных МК, отвечающих орграфу $G(z)$. Орграф МК является формализацией *слоя познания* в рамках произвольной Z-задачи. Каждый модуль компетентности отражает результаты всех этапов когнитивной самоорганизации в слое познания

$$\Omega(\{\tau/T_0, Z\}, \{G(\tau)\} \vee \{G_V(\tau)\} \rightarrow \{G_s(\alpha)\} \rightarrow \{V\} \rightarrow \{S\} \rightarrow \{S^*\} \rightarrow \{S^*\}_{Min} \rightarrow \{\Phi C\}. \quad (11)$$

Модуль компетентности получает активацию от цели, если он дает эффект, который удовлетворяет цель. Модуль может быть также заторможен целью, если эффект от его действий будет мешать удовлетворению цели. В рамках синдромного принципа управления [2] целями-потребностями служат активированные предельные синдромы. Неудовлетворенное предусловие (целевое значение теста) становится подцелью сети. Чем менее удовлетворяется предусловие, тем больше активации распространяется к другим модулям. Модуль может тормозиться другими модулями, уже удовлетворившими его предусловие.

Формирование предельных структур (опыта) естественным путем происходит достаточно длительно в процессе обучения или жизнедеятельности субъекта. В работе [6] рассматривается рефлексивная модель подобного процесса и возможности партнерских систем по его значительному ускорению.

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ЯДРА

Чтобы ментальный образ оставался стабильным и не угасал, нужно как-то поддерживать работу нейронов, которые возбуждаются при осознании, но без поддержки мгновенно гаснут. За это отвечает *обратная связь между набросками* (рекурсивные контуры с

массовым параллелизмом), которая заставляет стимулы циркулировать по петлям обратной связи, поддерживая стабильность нейронной цепи. Благодаря обратным связям – процессу посылания стимула из коры в зоны перцепции и обратно (повторный вход – re-entry), мозг может «говорить сам с собой», что необходимо для возникновения памяти и мыслей – феномена «внутреннего видения» [11]. По аналогии с моделью сознания Дж. Эдельмана [11] подобную активность назовем *динамическим ядром* (ДЯ), порождаемому доминантными, но постоянно изменяющимися циклическими цепями связей между элементами активности. ДЯ является результатом фазового перехода в осцилляторной активности (от бессознательного к сознательному) и позволяет экономно расходовать энергию, концентрируя ее на относительно небольшом множестве набросков (осцилляторных мод). ДЯ связывает между собой наброски-аттракторы разного уровня обобщенности, обеспечивая масштабируемость. Схематично ДЯ с петлями обратной связи в рамках орграфа набросков показано на рис. 2.

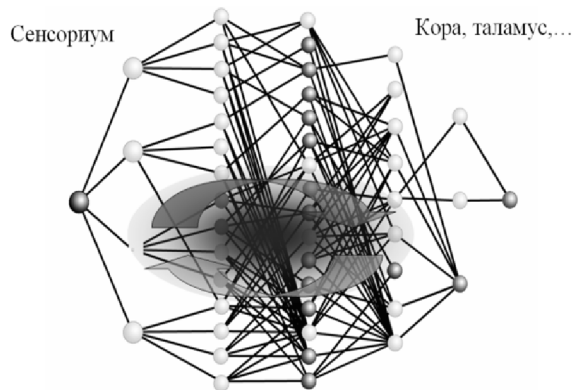


Рисунок 2 – Динамическое ядро в рамках орграфа набросков

ДЯ существует также в среде радикалов/функциональной системе, представляя собой текущее состояние системокванта – множества активных в текущий момент системопаттернов. Движение энергии (активности) по системопаттерну (развертывание системопаттерна) создает «структуру под напряжением». Примеры реализации системоквантов в рамках систем распознавания и информационных систем приведены в [2].

СПИРАЛЬНАЯ КОГНИТИВНАЯ МЕТАДИНАМИКА

Опыт научного познания показывает, что сложное, как правило, не возникает из ничего, а происходит в результате эволюции от своего более простого предшественника. *Спиральная когнитивная метадинамика* (СКД) представляет собой путь направленного морфогенеза или спонтанного нарастания сложности. СКД опирается на процесс самоорганизации (11) и свойство орграфов набросков переходить в орграфы значений на более высоком системном уровне. Общая схема СКД представлена на рис. 3.

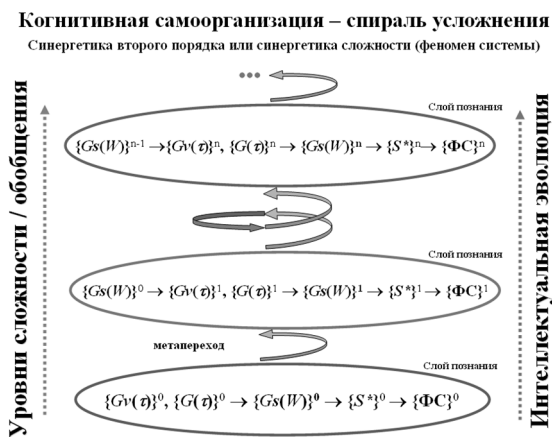


Рисунок 3 – Спиральная когнитивная метадинамика

В рамках каждого слоя познания имеет место самоорганизующаяся критичность (один виток спирали – конечный процесс), в то время как количество метапереходов (усложнений) не лимитировано. Более высокие уровни познания (управления) рассматриваются как ингибиторы активности более низких уровней. Однако при оптимальном регулировании управление происходит с минимальным участием высших уровней (действуют автоматизмы). СКД не предполагает вербализацию, поэтому характерна для всех живых существ, но у человека эволюция, как в филогенезе, так и в онтогенезе достигла максимального уровня сложности.

Для СКД характерны самоподобие, саморазвитие, самодвижение. Главный феномен и движущая сила эволюции заключаются в том, что с возрастанием уровня сложности возрастает управляемость фазовыми переходами в энергетическом поле слоя (осцилляторной активностью) и управляемость перемещением динамического ядра и, как следствие, возрастает степень осознанности (наблюдаемости) когнитивных про-

цессов. Пределом управляемости и наблюдаемости является логическое мышление. СКД разных модулей компетентности (ментальных многообразий) протекает с разной скоростью. Скорость усложнения конкретного МК зависит от частоты решения учебных, бытовых или профессиональных задач.

На определенной «высоте» (уровне сложности) может происходить *разрыв связей* между орграфами значений и порождающими их орграфами набросков (происходит абстрагирование). Так возникают значения–слова, понятия и асинтаксический протоязык. То есть можно полагать, что для образов таких элементов мира, как слова естественных языков, нужна большая «высота» нейронных образов («высота» представляет собой «расстояние» нейронного представления элемента мира от «ближайшего сенсорного входа»). Как отмечается в [12] именно способность человеческого мозга создавать нейронные образы большой высоты позволяет людям овладевать и пользоваться языком.

СКД раскрывает суть *механизма научения*, предполагающего включение когнитивных данных, относящихся к объектам и поведению, в систему устойчивых потребностей и преобразование этих потребностей в адекватные формы поведения (синдромный принцип управления [2]). Согласно синдрому принципу управления переход внутренней потребности к ее функциональной реализации в поведении может осуществляться автоматически, посредством "перевода потребности в оптимальную форму поведения" (в терминологии Ж. Нюттена [13]), то есть такую форму поведения, которая уменьшает *напряжение потребности* (напряжение можно интерпретировать как степень отличия текущих значений тестов целевым значениям в рамках синдрома-потребности S). Действительно, в рамках синдромного принципа управления для организации целенаправленного поведения используются предельные синдромы, выступающие в качестве параметров порядка. Предельные синдромы S^* обеспечивают как максимальную (предельную) наблюдаемость в задаче различения, так и максимальную управляемость. Степень управляемости (D_c - Degree of controllability) синдрома $S(\{z/T\}, z/Z)$ определяется минимальной степенью управляемости (достижимости целевых значений) всех входящих тестов, а именно:

$$Dc(S) = \min_{\tau \in S} \{Dc(\tau/T)\}. \quad (12)$$

Выбор синдрома в качестве цели управления по критерию максимальной управляемости происходит в соответствии с выражением

$$\text{Дано } \{S\}, \{S\}_U = \arg \max_{S \in \{S\}} (\min_{\tau \in S} \{Dc(\tau/T)\}). \quad (13)$$

Неоднозначность решения оставляет простор для дальнейшей оптимизации. На практике $Dc(\tau/T)$ можно оценивать, например, в баллах от 0 до 10. Исходное множество $\{S\}$ является какой-либо СР/ФС. Операция (13) выполняется в каждом задействованном слое познания по направлению сверху – вниз: решения верхнего слоя ограничивают спектр решений нижнего слоя. Целевые синдромы $\{S\}_U$ (включая предвестники $\{R\}$) формализуют концепт «перспективы будущего» Нюттена — пространства, в котором строится когнитивно переработанная мотивация человеческой деятельности [13]. Это временное измерение поведенческого мира, связанное со способностью человека ставить и осуществлять отдаленные во времени цели. По мнению Нюттена именно будущее является «пространством мотивации». Подобная пересpektива будущего должна быть реализована и в рамках когнитивного агента, а в более широком контексте – в рамках гетерогенной интеллектуально-рефлексивной среды [6].

СКД является основой экологической образовательной парадигмы. Она формирует *внутреннюю эмпирическую модель мира субъекта*, а также агента или интеллектуального приложения. В связи с этим можно отметить следующее. Метод проб и ошибок служит в основном средством наполнения базы прецедентов $\Omega(\{\tau/T_0, Z\})$ и опосредованно средством фальсификации моделей знаний. В каждом слое познания ведущую роль играют механизм самоорганизованной критичности, принцип спонтанной активности (роста орграфов набросков) и селекция.

В рамках СКД реализуются основные положения теории нейронного дарвинизма Дж. Эдельмана [11]. Так принцип селекции реализуется, в частности в следующих структурах и процессах:

- в орграфах значений, доменов, набросков (отбираются критические наброски, формируется динамическое ядро);

- на множестве идеальных закономерностей $\{V\}$ (отбираются конкурирующие модели знаний);
- на множестве механизмов реализации любого системопаттерна;
- в среде радикалов — СР, внутри функциональных систем — ФС и моделей «собственного поведения» — СП (формируются критические пути);
- между СР/ФС/СП модуля компетентности — МК;
- между разными МК (разными Z-задачами) на базе орграфа задач $G(z)$;
- между слоями познания (при оптимальном регулировании управление происходит с минимальным участием высших уровней).

Таким образом, СКД совместно с синдромным принципом управления отстаивают основополагающий принцип единства поведения и дают достаточно простое объяснение его механизмов, и особенно феноменов научения. Поскольку процесс самоорганизации в каждом слое познания протекает весьма хаотично и главное – длительно, то большое значение приобретают модели рефлексии, приводящие к формированию «промежуточных (этапных) знаний». Такие модели рассмотрены в [6].

ОПЕРАЦИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ППО

После того как определена спиральная когнитивная метадинамика, можно уточнить операциональный аспект парадигмы предельных обобщений. Операционально парадигма предельных обобщений описывает самоподобный когнитивный процесс развития, усложнения, становления, возникновения, состоящий на каждом уровне сложности из двух циклических фаз:

- фазы делокализации — контролируемого расширения смысла исходного атомарного события, значения (на каждом масштабном уровне), придание событию политемпоральных, виртуальных контекстов, формирование набросков явления;
- фазы предельного обобщения (для каждой познавательной ситуации) — эволюционного отбора представительных, конкурирующих комплексов событий предельного уровня обобщенности (принцип селекции и принцип переноса);
- возможной дестабилизации возникающих структур в результате воздействия эндогенных и экзо-

генных факторов, вызывающей новый цикл. Важной эндогенной причиной дестабилизации является рефлексия.

Переход на новый уровень сложности осуществляется за счет *контролируемой локализации* — сжатия смысла набросков явления (на каждом масштабном уровне) до атомарного события, значения (акт означивания или символизации). Далее происходит категоризация на новом уровне сложности. И т.д. Под развитием и усложнением понимается необратимый, направленный, закономерно протекающий, универсальный процесс многоуровневой самоорганизации системы.

Рассматривая пути реализации предложенной концепции, следует отметить, что в качестве первичной базы прецедентов $\Omega\{\tau/T_0, Z\}$ может выступать произвольная база данных. Контекст K является частью онтологии задачи и, следовательно, частью Многоцелевого

банка знаний (МбкЗ). Структура и функции МбкЗ описаны в [15]. Алгоритмы построения предельных структур знаний приведены в [2]. Там же рассмотрены многочисленные примеры ИТ-приложений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель спиральной когнитивной метадинамики вписывает когнитивный опыт в эволюционный процесс; раскрывает синергетику сложности когнитивных систем, а также операциональную сторону парадигмы предельных обобщений. Модель может быть использована для разработки технологий обучения с использованием когнитивных тренажеров, а также партнерских систем в разных областях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Prokopchuk Y. Spiral Cognitive Metadynamics //Annual International Conference on Biologically In-spired Cognitive Architectures – BICA (Kiev, Ukraine, September 14-15). – Fairfax, USA, The BICA Society Publ, 2013. – P.25.
2. Prokopchuk Ju.A. Princip predel'nyh obobshhenij: metodologija, zadachi, prilozhenija. Monografija. – Dn-vsk: ITM NANU i NKAU, 2012. – 384 s.
3. Prokopchuk Ju.A. Modeli kognitivnyh arhitektur i processov na osnove paradigmy predel'nyh obobshhenij /Ju.A. Prokopchuk //Kibernetika i vychisl. tehnika. – 2013. – Vyp.171. – S.37-51.
4. Prokopchuk Ju.A. Formal'nye modeli bazovyh sushhnostej «orgraf znachenij» i «strukturnaja jenergija» /Ju.A. Prokopchuk //Kibernetika i vychisl. tehnika. – 2013. – Vyp.172. – S.61-78.
5. Prokopchuk Ju.A. Realizacija principa strukturnoj kogerentnosti v modeljah kognitivnoj dinamiki //Trudy konferencii «Nelinejnaja dinamika v kognitivnyh issledovanijah-2013» (Nizhnij Novgorod, In-t prikladnoj fiziki RAN [i dr], 25-27 sentjabrja 2013g.). – Nizhnij Novgorod: IPF RAN, 2013. – S.119-122.
6. Prokopchuk Ju.A. Kompleksnye reshenija po upravleniju informacionnoj sredoju organizacii na osnove geterogennyh mul'tiagentnyh sistem: modeli vozniknovenija i «sobstvennogo povedenija» //Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta. – 2013. – №1 (46). – S.115-127.
7. Bek D., Kovan K. Spiral'naja dinamika. Upravljaja cennostjami, liderstvom i izmenenijami v XXI veke. – M.: Izd-vo «Otkrytyj Mir», 2010. – 352 s.
8. Kachanova T.L., Fomin B.F. Metody i tehnologii generacii sistemnogo znanija: ucheb. posobie. – SPb.: Izd-vo SPbGJeTU «LJeTI», 2012. – 132 s.
9. Daniel Dennett, Maxwell Bennett, Peter Hacker, John Searle. Neuroscience and Philosophy: Brain, Mind, and Language. – Publisher: Columbia University Press, 2007.
10. Fress P., Piazhe Zh. Jeksperimental'naja psihologija. Vypusk 4. Perevod s franc. – M.: Progress, 1973. – 344 s.
11. Edelman G. Second Nature: Brain Science and Human Knowledge. Yale University Press, 2007. – 224 p.
12. Dunin-Barkovskij V.L. Ponimanie mehanizmov ponimaniya: perspektivy blizhajshhego budushhego //Trudy konferencii «Nelinejnaja dinamika v kognitivnyh issledovanijah-2013» (Nizhnij Novgorod, In-t prikladnoj fiziki RAN [i dr], 25-27 sentjabrja 2013g.). – Nizhnij Novgorod: IPF RAN, 2013. – S. 48-50.
13. Nuttin J. Future time perspective and motivation. Leuven: Leuven University Press, 1985. – 430 p.
14. von Foerster H. Notes for an epistemology of living things. Observing Systems, The Systems Inquiry Series, Intersystems, 1981, pp.258-271.
15. Alpatov A.P. Informacionnye tehnologii v obrazovanii i zdavoohranenii /A.P. Alpatov, Ju.A. Prokopchuk, O.V. Judenko, S.V. Horoshilov. – Dn-sk: ITM NANU i NKAU, 2008. – 287 s.

Рецензент: д.т.н., проф. Пошивалов В.П., Институт технической механики НАНУ и НКАУ, Днепрпетровск.