

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ: МОДЕЛИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И «СОБСТВЕННОГО ПОВЕДЕНИЯ»

Введение. Приоритетной задачей любой современной организации является создание комплексной развивающейся информационной интеллектуальной среды [1 - 14]. Назначением такой среды может быть повышение функциональной устойчивости работы сотрудников, подразделений и организации в целом, а также повышение безопасности самой организации, как для клиентов (например, учащихся, пациентов), так и для сотрудников. Обеспечение функциональной устойчивости предполагает значительное снижение профессиональной стрессовой нагрузки на сотрудников организации за счет интеллектуальной компоненты среды (особенно это актуально для медицины). Успех в проектировании, реализации и поддержании информационных интеллектуальных сред (ИИС) связан во многом с решением следующих научно-технических проблем:

- созданием частных и общей онтологии организации, многоцелевого банка знаний [2, 4, 5, 12];
- синхронизацией распределенных гетерогенных баз данных и онтологий (внутренних и внешних);
- созданием гетерогенных сред моделирования [2, 5, 7];
- созданием мультимодального интерфейса взаимодействия агентов (аватаров) и персонала;
- разработкой эволюционных моделей накопления опыта, знаний, смыслопорождения в организации [12];
- реализацией «экологического» подхода [11];
- межведомственной интеграцией информационных ресурсов [5] (например, образования и медицины в задачах мониторинга здоровья учащихся и безопасности школьной или вузовской среды).

Гетерогенный характер мультиагентной основы ИИС обеспечивается с одной стороны максимально равноправным информационным взаимодействием субъектов (персонала организации, клиентов, учащихся, пациентов и т.д.) и агентов, а с другой стороны, разными типами программных агентов: агентов-аватаров персонала, агентов клиентов, агентов безопасности (контроль выполнения стандартов обслуживания, информационно-системная безопасность организации), агентов процессов (активностей), агентов ресурсов (например, диагностических лабораторий, операционных, мобильных ресурсов, станков, учебных кабинетов), автоматных агентов (роботов) и т.д. [3]. Если рассматривается ИИС МЧС, экологических служб, оборонных ведомств, то агентами могут быть не только люди и мобильные автономные средства (летающие – спутники и БПЛА, плавающие, подводные), но и «оснащенные» животные (например, собаки, голубы, дельфины). Интеллектуальная компонента ИИС обеспечивается когнитивными агентами и/или агентами процессов, для которых критически важно максимальное соответствие закономерностям протекания когнитивных процессов у человека («экологический» подход). *Экологичность* означает, что все причины и факторы, влияющие на истинность решений, должны быть «видны» невооруженным взглядом и эту «видимость» нельзя заменить ни на какую их формальную запись [11].

При создании ИИС на основе мультиагентной платформы особое внимание следует уделять *концепции возникновения* [9]. Возникающие структуры в природе демонстрируют муравейники, пчелиный рой, стая птиц, косяки рыб. С одной стороны, возникновение в ИИС может произойти без осознанного намерения или согласия разработчика, что может быть хорошо и плохо. С другой стороны, можно попытаться «спроектировать» возникновение необходимых структур. Такое проектирование можно выполнить двумя путями. Первый путь традиционный и состоит в том, чтобы создать агентов с таким поведением, какое необходимо для возникновения требуемых структур. Второй путь состоит в эволюционном формировании самой гетерогенной среды агентов. Он в наибольшей степени отвечает экологическому подходу. Действительно, самоорганизующиеся схемы возникают (при определенных условиях) без центрального руководства со стороны разработчика, поэтому они полностью имманентны всем информационным структурам организации. Важно понять природу таких процессов, научиться их моделировать и разработать необходимые инструменты для реализации.

Основатель кибернетики второго порядка (кибернетики наблюдателя) Гейнц фон Фёрстер (von Foerster) показал, что в повторяющемся процессе рекурсивно организованных сенсомоторных актов различения, взаимных возмущений и реакций на возмущения возникают инварианты во взаимоотношениях адаптивных сложных систем с внешней средой. Он назвал подобные инварианты «*собственное поведение*» (eigenbehavior) [10] по аналогии с давно известным в математике понятием «собственный вектор» (eigenvector). Фактически, собственное поведение – это неподвижная точка оператора, остающаяся

неизменной при его действии (в ходе бесконечного числа рекурсий, выстраиваются «собственные значения» – средства связи элементов системы). Ясно, что собственное поведение отвечает концепции возникновения и может служить методологической основой описания процессов самоорганизации в открытых развивающихся ИИС.

Цель работы. На основе парадигмы предельных обобщений [5, 6] необходимо построить математическую модель, описывающую процесс формирования «собственного поведения» субъекта и, соответственно, ИИС. Произвести «сборку» субъекта/агента, как наблюдателя сложности и одновременно участника сложности, как особого рекурсивного процесса. Построенные модели должны демонстрировать самодвижение, возникновение, процесс неосознанного выделения параметров порядка, формирования критичных (предельных) структур знаний, а также имплицитного опыта (функциональных систем на основе автоматных агентов, сред радикалов).

Постановка задач исследования. Основными задачами настоящего исследования являются:

– реализация экологического подхода при поиске и моделировании базовых сущностей и процессов самоорганизации в рамках ИИС, приводящих к возникновению смысловых структур, структур знаний и функциональных систем (когнитивно-поведенческих структур); построение и анализ модели смыслопорождения в организации;

– построение эволюционной модели процесса генезиса функциональных групп агентов (среды радикалов) как возникающих структур;

– построение модели формирования «собственного поведения» субъектов и рефлексивных агентов; анализ модели на предмет эффективности взаимодействия рефлексивной группы «субъекты - агенты»; изучение процессуального механизма дестабилизации субъекта/агента в процессе рефлексии.

Результаты исследования. К числу базовых информационно-энергетических сущностей ИИС (феноменологического пространства) можно отнести:

- орграфы значений, доменов, набросков;
- динамические системопаттерны;
- структурную энергию.

Системопаттерны образуют каналы движения структурной энергии. Элементы-сущности находятся в постоянном движении из-за своей структурной неустойчивости (структурного разнообразия), что создает внутренние движущие силы и обеспечивает самодвижение.

Базовые сущности: орграфы значений. 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). 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: «разделённость» (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. Таким образом, элементарной «клеточкой», порождающей идеальные феномены, оказываются постоянно возникающие 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 [14]. Целостность такого пространства обеспечивается орграфами значений, системопаттернами, а также структурной энергией. 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 вытекает фундаментальная основа теории идеальности специальным образом организованной материи.

Методологически любую сущность феноменологического (идеального) пространства, включая значения и орграфы значений, можно рассматривать или с позиции *рекогеренции* (целостности, квантово-семантической суперпозиции смыслов) или с позиции *декогеренции* (разделенности, однозначно проявленного смысла) [5]. 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 как собственно значения, а также коды, метки, пейсмекеры (берущие на себя инициативу, задающие активность, стиль, ритм действий), ссылки, указатели на комплексные структуры и процессы. Тесты отвечают за первичное различение (коды-различения) [13].

Множество значений теста τ обозначим $\{\tau\}$. Множество значений теста τ с обобщающими связями назовем *орграфом значений* и обозначим $Gv(\tau) = \{a \rightarrow_e b\}$, 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 системопаттерном и базовым конструктом смысла. Если значение является указателем (ссылкой), то энергия активации отражает степень возбуждения подчиненной структуры.

В ряде приложений отсутствие активности какого-либо значения τ может трактоваться как активность отрицания данного значения, т.е. активность $\neg\tau$ (допускается своего рода *отрицательная энергия*). Данная возможность играет важную роль в структурогенезе одной из разновидностей орграфов значений, а именно, орграфов доменов тестов [5]. 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 (детальнее об этом пойдет речь 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 взаимокompенсации положительной и отрицательной активности, будет соответствовать *значению неопределенности*. В этом проявляется двойственность значений орграфа. 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.

Примеры орграфов значений:

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

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

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

На рис. 1 приведены примеры графической визуализации орграфов значений.

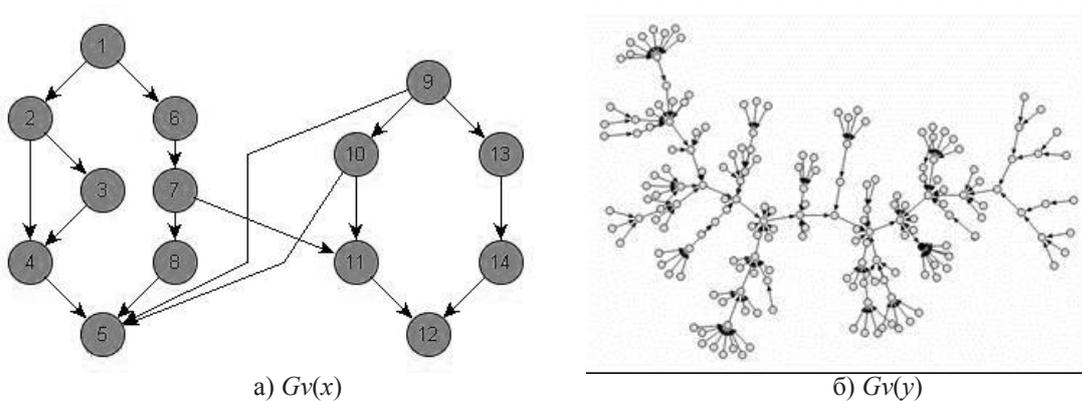


Рис. 1 – Орграфы значений

Термины «вершина», «узел» и «значение» применительно к орграфам значений будем считать синонимами. 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 $G\nu(\tau)$. Из унимодальности и отношения «обобщение-детализация» (является отношением строгого порядка) следует, что орграф ациклический. Энергия (проводимость) каждой связи больше нуля (если энергия 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 $G\nu(x)$ имеет две базовые – 1, 9 и две терминальные вершины – 5, 12; орграф $G\nu(y)$ имеет множество базовых и одну терминальную вершину (черная вершина).

Произвольные вершины a и b орграфа $G\nu(\tau)$ назовем *связанными*, если между ними существует последовательность переходов обобщения по внутренним вершинам. Произвольную последовательность переходов обобщения между связанными вершинами a и b орграфа $G\nu(\tau)$ назовем *смысловой траекторией* (обобщения). *Пучок смысловых траекторий* из вершины a в вершину b орграфа $G\nu(\tau)$ 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 $G\nu(\tau)$ назовем *альтернативными*, если не существует вершины c (возможно совпадающей с одной из вершин a или b), для которой определены смысловые траектории $(c\uparrow a)_\tau$ и $(c\uparrow b)_\tau$. Ясно, что любые две вершины, которые связаны смысловой траекторией, не являются альтернативными. 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 важнейшее свойство орграфов значений. Альтернативные значения могут появляться в динамике развития ситуации.

Множество всех альтернативных вершин для произвольной вершины b орграфа $G\nu(\tau)$ обозначим $A(b)$. Множество $A(b)$ может быть пустым. Множество всех вершин орграфа $G\nu(\tau)$, не имеющих альтернативы, обозначим $U(\tau)$. Можно показать, что безальтернативное множество $U(\tau)$ образуют все вершины орграфа значений $G\nu(\tau)$, для которых существуют смысловые траектории одновременно со всеми базовыми вершинами.

Для каждого значения a орграфа $G\nu(\tau)$ определим *элементарный орграф обобщения* или *конус обобщения* $G\nu^1(\tau|a)$, который является фрагментом $G\nu(\tau)$ 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 объекта «конус обобщения» появляется возможность уточнить специфику распространения структурной энергии, а именно: *активность значения a распространяется по всему конусу обобщения $G\nu^1(\tau|a)$* . 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 (*принцип «структурной когерентности»*).

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

Предложение 1. Если в орграфе значений $G\nu(\tau)$ 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 $\{G\nu^1(\tau|a_i)\} \cap \{G\nu^1(\tau|a_j)\} = \emptyset$, то $U(\tau) = \emptyset$. Другими словами, для любого значения орграфа $G\nu(\tau)$ существуют альтернативные значения.

Из предложения 1 вытекает важное свойство орграфов значений: они *не обязательно 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 $G\nu(\tau)$ определим *элементарный орграф детализации* или *конус детализации* $G\nu^1(\tau|a)$, который является фрагментом $G\nu(\tau)$ 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 место для базовых вершин и состоят из самой базовой вершины. Структурная энергия, формирующая активность значения a , определенным образом распространяется внутри конуса детализации $Gv^l(\tau|a)$.

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

Предложение 2. 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:

$$Gv(\tau) = \otimes_{i=1, \dots, n} Gv^l(\tau|a_i) = \otimes_{i=1, \dots, m} Gv^l(\tau|b_i). \tag{1}$$

Под «структурной композицией» понимается объединение совпадающих частей орграфов (энергия при этом не рассматривается). Пример (для орграфа на рис. 1а):

$$Gv(x) = Gv_l(x|5) \otimes Gv_l(x|12) = Gv^l(x|1) \otimes Gv^l(x|9).$$

Схема формирования обобщенных репрезентаций образа. Конус детализации терминальной вершины орграфа значений представляет собой ничто иное, как полную *область притяжения вершины-аттрактора* (точечный аттрактор). На рис. 1б показан пример «физического» конуса детализации с точечным аттрактором (черная вершина). Таким образом, орграфы значений позволяют применять важнейшие понятия нелинейной динамики такие как «траектории», «воронки притяжения», «аттракторы» и другие. 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 (см. ниже).

Пусть образ описывается с помощью 9 тестов, каждый из которых представлен элементарным конусом детализации (рис. 2). *Наброском образа* будем называть совокупность любых девяти значений тестов. Возбуждение первичного образа - наброска приводит, в частности, к возбуждению всех 9 терминальных вершин – аттрактора процесса распространения структурной энергии (центральный круг). Конусы детализации в совокупности образуют область притяжения аттрактора.

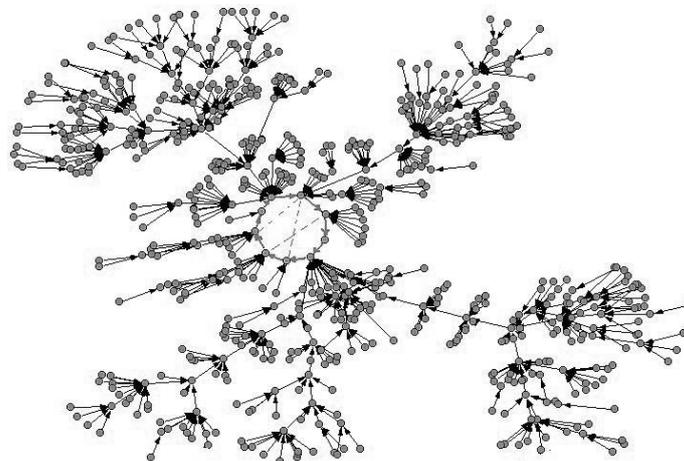


Рис. 2. Притягивающее множество и область его притяжения

Аттрактор (притягивающее множество) является финитным (предельно обобщенным) наброском любого первичного наброска образа. 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 [5].

На рис. 2 показаны связи между значениями аттрактора (выделены цветом). Эти связи-системопаттерны 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, см. ниже).

Важно отметить, что активация первичного наброска образа (произвольные значения 9 тестов) приведет к одновременной активации девяти конусов обобщения. В качестве конусообразующих значений будут выступать значения первичного наброска. Это означает суперпозицию всех набросков, принадлежащих конусам обобщения (при рекогерентном рассмотрении). В общем случае нужно учитывать также активность отрицаний альтернативных значений. Более того, разные наброски имеют разную активность, т.е. имеет место степенной закон распределения активности или *самоорганизующаяся критичность* [5]. Критические наброски, а точнее – предельные закономерности, будут рассмотрены ниже.

Базовые сущности: орграфы доменов и набросков, системопаттерны. Если на первичные значения одного теста наложить ограничение целостности и проследить эволюцию данной целостности (домена) в процессе обобщения, то получим *орграф доменов теста*. Если ограничение целостности наложить на группу значений разных тестов и проследить эволюцию данной целостности (образа, наброска) в процессе обобщения, то получим *орграф набросков образа*. Уточним формальные определения данных структур [5, 6].

Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста τ используется домен T , будем использовать нотацию: τ/T . Правила пересчета значений теста из одного домена в другой задают взвешенный *орграф доменов теста* $G(\tau) = \{T \xrightarrow{e} T'\}_{\tau}$, где e – структурная энергия (проводимость связи), которая может динамически изменяться. Домен слева от стрелки в фундаментальной триаде ($T \xrightarrow{e} T'$) будем называть *доменом-предком (родителем)*, а справа от стрелки *доменом-потомком*. Совокупная смысловая область элементов домена–потомка полностью совпадает с совокупной смысловой областью элементов домена–предка. Без ограничений общности положим, что домены орграфа $G(\tau)$ состоят из альтернативных элементов (точечных или атомарных элементов) и атомарный элемент любого домена однозначным образом преобразуется в атомарные элементы доменов-потомков.

Орграф доменов имеет одну *базовую вершину* T_0 – базовый домен со значениями (элементами) максимально высокого уровня точности. В базовую вершину не входит ни одна дуга орграфа. Любой домен орграфа проецируется на весь базовый домен, т.е. все домены являются набросками базового домена.

Пусть W – произвольное явление действительности или образ тогда *орграфом набросков* назовем структуру вида: $G_s(W) = \{P \xrightarrow{e} P'\}_{W}$, где P, P' – наброски; e – структурная энергия (проводимость связи). Причем $|I(P')| < |I(P)|$, где I – оператор вычисления информации (происходит диссипация информации). Любой набросок P при декогерентном рассмотрении является множеством значений тестов $\{\tau\}_P$. 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.

В совокупности орграфы значений/доменов образуют *Банк тестов*: $\{G_v(\tau)\}$ или $\{G(\tau)\}$. Различные комбинации доменов для всех тестов определяют различные уровни обобщенности описания ситуаций действительности. Банк тестов обеспечивает переход от физической реальности к феноменологическому пространству (ФП) и служит *системой координат* произвольного ментального многообразия ФП.

Важно отметить, что множественные описания образа, явления, ситуации существуют *одновременно*. Другими словами, имеет место неразделяемая *суперпозиция описаний* разного уровня обобщенности, формируя *субъективные состояния*. Подобная суперпозиция препятствует вербализации.

Будем говорить, что домен T' *доминирует* домен T в рамках орграфа $G(\tau)$, если они не совпадают и существует путь $T \rightarrow \dots \rightarrow T'$. Доминирование обозначим нотацией: $T < T'$. Нестрогое доминирование (домены могут совпадать) обозначим нотацией: $T \leq T'$. Если один домен доминирует другой, то он имеет более высокий уровень обобщения. Ясно, что все терминальные вершины орграфа $G(\tau)$ являются недоминируемыми. Между любыми двумя вершинами орграфа доменов либо существует отношение доминирования, либо нет.

Любые преобразования, движения, вывод, импульсы, вычислительные модели в системе координат ментального многообразия ФП $\{G(\tau)\}$ можно описать с помощью *динамических системопаттернов* (или просто системопаттернов) вида [5]:

$$f/\mu: \{a/A\}, e/E \rightarrow \{b/B\}, \quad \mu \in \{\mu\}_P \quad (2)$$

где $\{a/A\}$ – входные тесты; $\{b/B\}$ – выходные тесты; e/E – требуемая структурная энергия, ресурсы; μ – механизм реализации. Если системопаттерны строятся на основе орграфов значений, то домены из выражения (2) следует убрать; если строятся на основе орграфов набросков, то вместо доменов нужно подставить наброски образов. С помощью структурной энергии, в частности, может передаваться возбуждение (активность) в вычислительной среде. Преобразования между доменами ($T \rightarrow_e T'$) или набросками ($P \rightarrow_e P'$) являются разновидностями системопаттернов. В самом общем понимании системопаттерны – это воплощенное *мысле-действие*. Как отдельные системопаттерны, так и их группы в рамках ИИС могут выполнять разные агенты. Их тип будет зависеть от сложности и характера системопаттерна.

Идеальные закономерности и модели знаний. Для решения той или иной когнитивной задачи (Z -задачи) формируется множество прецедентов с известными исходами $\Omega = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)\}$, где $Z = \{1, \dots, N\}$ – множество заключений (различий, диагнозов, прогнозов, управлений); $\{\underline{\tau}/T\}$ – множество значений тестов. Множество Z является Z -тестом.

Z -задачи вместе с другими тестами формализуют акты различения (дифференциации) [13]. *Акт различения* – это системоквант “мысле-действия” когнитивной системы, базовая функция наблюдателя, поэтому мыслительный многоконтурный процесс можно свести к замкнутым циклам трансформ различений, превращений одних различений (на уровне первичных тестов) в другие (на уровне Z -задач). Для каждой активной Z -задачи создается агент Z -процесса и агент безопасности, отслеживающий качество решения Z -задачи (соответствие стандартам). Агент Z -процесса запускает среду радикалов (функциональную систему, состоящую из автоматных агентов; см. ниже) [5].

Без потери общности примем, что каждый тест входит в описание прецедента (ситуации действительности) один раз. Кроме того, будем рассматривать описания прецедентов с полной информацией (имеются значения всех тестов из $\{G(\tau)\}$). Через $\Omega(\{\tau/T_0\}, Z)$ обозначим априорные описания прецедентов. Априорные описания прецедентов могут храниться в традиционных БД, следовательно, $\{G(\tau)\}$ обеспечивает необходимую синхронизацию распределенных гетерогенных баз данных и онтологий.

Зафиксируем уровень общности $\{\tau/T\}$. Описание базы прецедентов $\Omega(\{\tau/T\}, Z)$ назовем *конфликтным*, если существуют хотя бы два прецедента $\alpha(\{\underline{\tau}/T\}_\alpha, \underline{z}_\alpha)$ и $\beta(\{\underline{\tau}/T\}_\beta, \underline{z}_\beta)$ такие, что $\{\underline{\tau}/T\}_\alpha = \{\underline{\tau}/T\}_\beta$, но $\underline{z}_\alpha \neq \underline{z}_\beta$. Будем предполагать, что априорное описание $\Omega(\{\tau/T_0\}, Z)$ бесконфликтно.

Будем говорить, что описание $\{\tau/T'\}$ *доминирует* описание $\{\tau/T\}$, если $\forall \tau \ T \leq T'$ и $\exists \tau: T < T'$. Доминирование описаний будем обозначать нотацией: $\{\tau/T\} < \{\tau/T'\}$. Нестрогое доминирование (все домены могут совпадать) обозначим нотацией $\{\tau/T\} \leq \{\tau/T'\}$. Отношение доминирования распространим на любое множество тестов $\{a/A\}$.

Множество всех описаний базы прецедентов образует оргграф набросков $\Omega(Z)$, в котором $\Omega(\{\tau/T\}, Z)$ – отдельный набросок. Можно также рассмотреть оргграф набросков каждого прецедента α , тогда описание $\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)$ – это отдельный набросок.

Контекстом Z -задачи назовем кортеж $K = \langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$. Заданием K любой прецедент *погружается* в контекст K . Пусть $\{\tau\}$ – полный набор тестов в рамках Банка тестов $\{G(\tau)\}$.

Идеальной закономерностью V в рамках контекста K назовем произвольную совокупность значений тестов, позволяющую однозначно установить заключение [6]:

$$V = (\{a/A\} \rightarrow \underline{z}/Z), \quad \exists \alpha(\{\underline{\tau}/T\}_\alpha, \underline{z}/Z) \in \Omega(Z): \{a/A\} \subseteq \{\underline{\tau}/T\}_\alpha. \quad (3)$$

Компактная запись: $V(\{a/A\}, \underline{z}/Z)$. «Идеальность» закономерности вытекает из субъективного характера банка тестов. Закономерность является разновидностью системопаттерна и примером *слабой связи*. Ее можно трактовать как когнитивный условный рефлекс. Идеальные закономерности связывают не только орграфы доменов, но также орграфы значений и орграфы набросков. Применение закономерности к любой ситуации α , не входящей в $\Omega(Z)$, является по своей сути *переносом*.

Закономерность может быть избыточна. Это подтверждает следующее предложение.

Предложение 3. Если $V(\{a/A\}, \underline{z}/Z)$ закономерность в рамках контекста K , то любое множество значений тестов $\{a/A\} \cup \{b/B\}$ такое, что $\{a\} \cap \{b\} = \emptyset$ образует закономерность $V'(\{a/A\} \cup \{b/B\}, \underline{z}/Z)$ в рамках контекста K при выполнении условия: $\exists \alpha(\{\underline{\tau}/T\}_\alpha, \underline{z}/Z) \in \Omega(Z), \{a/A\} \cup \{b/B\} \subseteq \{\underline{\tau}/T\}_\alpha$.

Формальным синдромом S (или просто *синдромом*) в рамках контекста K назовем неизбыточную идеальную закономерность. Другими словами, ни один тест из описания $S(\{a/A\}, \underline{z}/Z)$ убрать нельзя без потери однозначности заключения.

Будем говорить, что закономерность $V'(\{a/A\}', \underline{z}/Z)$ *доминирует* закономерность $V(\{a/A\}, \underline{z}/Z)$, если $\{a'\}' \subseteq \{a\}$, $\forall a \in \{a'\}' : A \leq A'$ и выполняется хотя бы одно из условий: а) $|\{a'\}'| < |\{a\}|$; б) $\exists a \in \{a'\}' : A < A'$.

Для любого синдрома S доминирующей закономерностью может быть только синдром с тем же составом тестов.

Пределным синдромом S^* в рамках контекста K назовем синдром, у которого отсутствуют

доминирующие закономерности. Некоторые предельные синдромы могут претендовать на роль *параметров порядка* для группы ситуаций $\{\alpha(z/Z)\}$. Предельные синдромы, выступающие в качестве параметров порядка, используются для организации целенаправленного поведения (синдромное управление) [5].

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

Будем говорить, что 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 будем отражать нотацией $\{V'\} > \{V\}$. Будем говорить, что модели знаний $\{V'\}$ и $\{V\}$ *эквивалентны в плане доминирования*, если они применимы к одному и тому же множеству набросков прецедентов. Факт эквивалентности в плане доминирования будем отражать нотацией $\{V'\} \sim \{V\}$. Если для модели знаний $\{V\}$ не существует доминирующая модель, то будем говорить, что она *недоминируема*. Если между двумя моделями знаний $\{V'\}$ и $\{V\}$ не выполняется отношение доминирования и они не эквивалентны в плане доминирования, то будем говорить, что такие модели знаний *несравнимы между собой в плане доминирования*. Данный факт будем отражать нотацией $\{V'\} \succ \{V\}$.

Большой практический интерес представляет поиск всех минимальных (неизбыточных) по составу моделей знаний, которые принадлежат $\{S^*\}_{Full}$ и эквивалентны по доминированию $\{S^*\}_{Full}$. Такие модели знаний обозначим $\{S^*\}_{Full-Min}$. Их поиск может быть выполнен методом исключения части синдромов $\{S^*\}_{Full}$. В природе модели $\{S^*\}_{Full-Min}$ возникают в результате самоорганизующейся критичности.

«Материализация» минимальных моделей в виде среды радикалов (автоматных агентов) является важнейшим актом возникновения, который приводит к функциональной системе когнитивно-поведенческого уровня: « $\{S^*\}_{Full-Min}$ – Среда радикалов» (обеспечивающей решение Z -задачи различения, управления) и описывает процесс формирования *имплицитного опыта*: обучение начинается на когнитивном уровне, а результат переходит на уровень рефлекторных реакций. Развиваемый формализм помогает *осознать* имплицитный опыт агента-субъекта и перевести его в эксплицитный опыт, доступный всем агентам ИИС. В этом заключается одна из важнейших задач ИИС.

Динамика формирования моделей знаний. Пусть $V(\{a/A\}, z/Z)$ и $V'(\{b/B\}, z/Z)$ – две закономерности. Элементарной операцией обобщения Φ^1 назовем переход $V \rightarrow V'$, в котором обобщается значение лишь одного из тестов закономерности V по схеме $A \rightarrow A'$ (родитель - потомок). Верхний индекс означает тип операции (1 – операция обобщения). Состав тестов закономерности V при операции обобщения Φ^1 не изменяется. Ясно, что при данной операции происходит диссипация информации, но уровень доминирования не уменьшается. Общее количество различных операций типа Φ^1 определяется выражением:

$$|\{\Phi^1\}| = \sum_{\tau \in \{\tau\}} |\{T \rightarrow_e T'\}_\tau|. \tag{4}$$

Элементарной операцией редукции Φ^2 назовем переход $V \rightarrow V'$, при котором исключается один из тестов закономерности V . При данной операции также происходит диссипация информации, но уровень доминирования не уменьшается. Общее количество различных операций типа Φ^2 совпадает с $|\{\tau\}|$.

Введем в рассмотрение третью элементарную операцию - Φ^3 , суть которой состоит в исключении какой-либо закономерности V из модели знаний $\{V\}$ при условии, что $\{V\}' = \{V\} \setminus V$ эквивалентна в плане доминирования $\{V\}$. Ясно, что операция Φ^3 также приводит к диссипации информации. Количество возможных операций - $|\{V\}|$.

Операции $\{\Phi^v\}$ представляют собой элементарные *акты познания*., причем операции $\{\Phi^1\}$ и $\{\Phi^2\}$ принципиально отличаются от $\{\Phi^3\}$, так как они порождают новые закономерности, что может привести к повышению уровня доминирования. Операции из $\{\Phi^3\}$ позволяют лишь «забыть» часть закономерностей (с сохранением уровня доминирования). Все элементарные операции требуют определенных затрат структурной энергии.

Пусть фиксирован контекст K и множество операций $\{\Phi^v\} = \{\Phi^1\} \cup \{\Phi^2\}$. Множество $\{\Phi^v\}$ напоминает *систему итеративных функций* (СИФ) – сжимающих отображений, порождающих фракталы. Этот процесс чаще всего происходит в диссипативных системах, траектории которых заполняют низкоразмерное инвариантное притягивающее подмножество — аттрактор в фазовом пространстве. Если W – оператор Хатчинсона СИФ, то неподвижная точка A такая, что $W(A) = A$, называется аттрактором СИФ или фракталом. Когнитивным аналогом оператора Хатчинсона является $\{\Phi^v\}$ (сохраним обозначение W): $W(\{V\}) = \{W(V) | V \in \{V\}\}$. Важно то, что $W(\{V\}) \geq \{V\}$, т.е. уровень доминирования не уменьшается (как правило, увеличивается).

Пусть $H(\{V\}_{Full})$ – множество непустых подмножеств $\{V\}_{Full}$ тогда когнитивный аналог оператора

Хатчинсона W описывает детерминированную дискретную динамическую систему с пространством состояний $H(\{V\}_{Full})$ и преобразованием W .

Если W^n - композиция порядка n оператора W , то последовательность множеств, полученную в результате итерирования $\{V\}$, т.е. $\{\{V\}, W(\{V\}), W^2(\{V\}), \dots, W^n(\{V\}), \dots\}$, назовем *смысловой орбитой* $\{V\}$.

Предложение 4. Для $\{V\}_0 = \{\{\tau/T_0\}_\alpha \rightarrow (z/Z)_\alpha \mid \alpha \in \Omega(\{\tau/T_0\}, Z)\}$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} W^n(\{V\}_0) = \{S^*\}_{Full}, \quad \{V\}_{Full} = \bigcup_{n=0,1,2,\dots} W^n(\{V\}_0) \quad (5)$$

Неподвижная точка $A = \{S^*\}_{Full}$ является аттрактором множества операций $\{\Phi^v\}$, а предельные синдромы и отвечающие им радикалы можно рассматривать как *инварианты* когнитивной эволюции. Правая часть второго соотношения описывает, по сути, процесс построения орграфа набросков $Gs(\{V\}_0)$, где $W^n(\{V\}_0)$ - n -й слой орграфа.

Пусть $\{V\}$ произвольная модель знаний, тогда сопряженное множество всех минимальных по составу моделей знаний, которые принадлежат $\{V\}$ и эквивалентны по доминированию $\{V\}$, обозначим $\{\{V\}_{Min}\}_{\{V\}}$. Другое обозначение - $\{V\} \downarrow \{\{V\}_{Min}\}$, где « \downarrow » - полная операция локализации (неполная операция локализации позволяет найти только часть сопряженных моделей).

Предложение 5. Каждая модель $\{V\}_{Min}$ является аттрактором следующего динамического процесса локализации (при фиксированном контексте K):

$$\begin{aligned} \{V\}_{n+1} &= \Phi_{\sigma_n}(\{V\}_n, \Omega(Z), \{G(\tau)\}), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \\ \{V\}_0 &= \{V\}, \quad \Phi_{\sigma_n} \in \{\Phi^3\}_n, \quad |\{\Phi^3\}_n| = |\{V\}_n|, \end{aligned} \quad (6)$$

где Φ_{σ_n} выбирается из $\{\Phi^3\}_n$ с вероятностью p_{σ_n} (сумма всех вероятностей равна единице). Если выбранную закономерность нельзя удалить, то случайным образом выбирается другая закономерность из оставшихся и т.д.

Процесс (6) останавливается только тогда, когда нельзя удалить ни одну закономерность из $\{V\}_n$ с сохранением уровня доминирования. Если аттрактор процесса обозначить $\{V\}_\infty$, то ясно, что $\{V\}_\infty \sim \{V\}_0$.

Предложение 6. Если в уравнении (6) положить $\{V\}_0 = \{S^*\}_{Full}$, то аттрактором динамического процесса (6) будет избыточная предельная модель знаний $\{S^*\}_{Full-Min}$. Совокупность аттракторов всех процессов (6) совпадает с полным набором всех избыточных предельных моделей знаний $\{\{S^*\}_{Full-Min}\}$.

Другими словами, рефлексивные петли стягиваются к естественной границе - горизонту достижимости (при наличии достаточного количества энергии).

Модели динамики (5) - (6) должны быть дополнены второй рефлексивной петлей - динамикой контекста K : изменяется Банк тестов, включая структурную энергию, и/или база прецедентов. Так динамику изменения базы прецедентов можно представить соотношением: $\Omega(t + 1) = \Omega(t) \cup \{\alpha\}_t$, где $\{\alpha\}_t$ - новые ситуации. Мутации $\{G(\tau)\}$ являются нужными случайными толчками на пути эволюционной адаптации к среде. После каждого значимого изменения контекста, приводящего, например, к фальсификации моделей знаний, рефлексивная петля (5)–(6) запускается заново (аналог эволюции после когнитивной катастрофы).

«Модели мира» и собственного поведения. Рефлексивные петли. В предыдущем разделе были установлены теоретически достижимые пределы когнитивной эволюции в рамках любой Z -задачи. Показан, по сути, механизм возникновения (генезиса) среды автоматных агентов « $\{S^*\}_{Full-Min}$ - Среда радикалов». Рассмотрим детально особенности реальных рефлексивных процессов.

Опишем рефлексивную петлю в рамках произвольной Z -задачи (Z -task). Пусть в интервал времени $n=0$ фиксирован контекст $K_Z = \langle \Omega(Z), \{G(\tau)\} \rangle$. Локальной моделью мира (Local World Model - LWM) в рамках Z -задачи в n -ый интервал времени назовем кортеж (сборка субъекта):

$$\begin{aligned} LWM_Z(n) &= \langle K_Z, W^n(\{V\}_0), W^n(\{V\}_0) \downarrow \{\{V\}_{Min}\}, EB_Z(n) = \{V\}_{Min} \rangle, \\ \{V\}_0 &= \{\{\tau/T_0\}_\alpha \rightarrow (z/Z)_\alpha \mid \alpha \in \Omega(\{\tau/T_0\}, Z)\}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $EB_Z(n)$ - текущая активная модель собственного поведения (EigenBehavior), которая ситуативно выбирается из полного набора $W^n(\{V\}_0) \downarrow \{\{V\}_{Min}\}$. Для множества $W^n(\{V\}_0)$ введем обозначение $XB_Z(n)$ (eXtended Behavior). Множество $\{\{V\}_{Min}\}$ содержит полный набор вариантов «собственного поведения» когнитивной системы (агента) в n -ый интервал времени.

Рефлексивная петля I-go типа (РП1) при фиксированном контексте K_Z состоит из двух последовательных фаз (механизм «усложнения - редукции»):

1. Фаза расширения: $XB_Z(n+1) = W(XB_Z(n))$.
2. Фаза локализации: а) $XB_Z(n+1) \downarrow \{\{V\}_{Min}\}$; б) $EB_Z(n+1) = \{V\}_{Min}$

Графически фазы изображены на рис. 3.

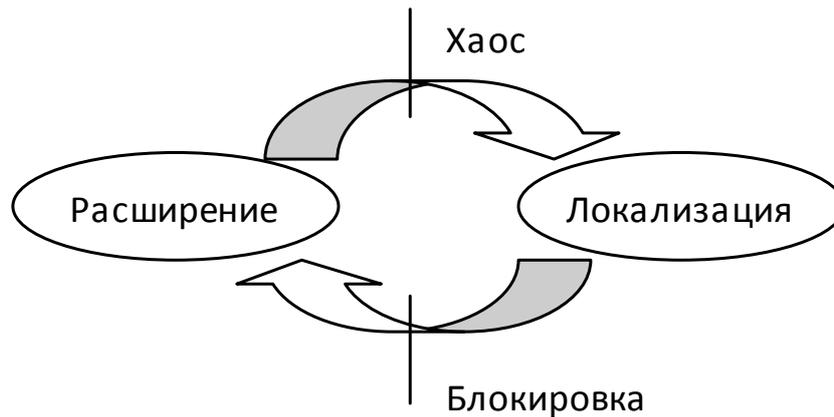


Рис. 3. Рефлективная петля I-го типа

В пределах «собственного поведения» (СП) совершается отбор информации и выбор способов совершения действий (синдромный принцип управления) [5]. Эволюционная целесообразность феномена СП определяется стремлением уменьшить энергию при решении задач выбора паттерна различения или поведения (в «обычной» ситуации).

Рассмотрим основные свойства динамического процесса на основе РП1. Прежде всего, рекурсивно происходит расширение фазового пространства когнитивной системы (пространства идеальных закономерностей). Процесс локализации при благоприятных условиях (достаточности энергии) имеет естественный предел в виде: $XV_Z(\infty) = \{S^*\}_{Full-Min}$; $EB_Z(\infty) = \{S^*\}_{Full-Min}$. Это предельный опыт, который можно достичь при фиксированном контексте K_Z . Устойчивость предельных структур определяется минимумом энергии на операцию выбора (различения, управления). Промежуточный опыт $\{EB_Z(n)\}$ не всегда верный и всегда неполный.

В результате жизнедеятельности агента на вход поступает поток различных Z-задач (распознавания, управления и т.д.). РП1 запускается всякий раз, когда агент не может разрешить Z-задачу с помощью $EB_Z(n)$ (или $\{EB_Z(n)\}$) для новой ситуации $\alpha(\{T/T\}_\alpha, z/Z?)$. Отметим, что $\{T/T\}_\alpha$ может не содержать значений всех тестов и быть высокого уровня обобщения (нечеткости). Завершение текущей РП1 в отведенное время не гарантирует решение задачи. В этом случае нерешенная задача переходит в банк задач $BT = \cup_z \{\alpha(\{T/T\}_\alpha, z/Z?, Ie)\}$ с меткой «нерешенная» и эмоциональным индексом Ie (тест), базовый домен которого принимает значения в интервале $(-\infty, +\infty)$. Как правило, ситуации ресурсного цейтнота имеют значительный негативный эмоциональный индекс. Банк BT является частью глобальной модели мира агента, символизируя его ментальный опыт. Если РП1 не завершена в отведенное время, то задача также помещается в BT, а РП1 продолжает выполняться в фоновом режиме (с незначительной энергией и неопределенным временем окончания).

Если завершена любая РП1, то в фоновом режиме пересматриваются все задачи из BT (в первую очередь пересматриваются задачи с максимальным по модулю эмоциональным индексом). Это рефлективная петля II-го типа (РП2). Если в фоновом режиме для какой-либо задачи из BT находится (новое) решение, то возникает инсайт (озарение) – данная задача получает фокус внимания. Поскольку все задачи из BT имеют эмоциональный окрас, то РП2, возвращаясь к прошлым задачам с большим эмоциональным индексом, описывает, по сути, перманентное переживание (квалитативные состояния) и модификацию прошлого опыта. Это означает, что продуцирование поведения сопровождается переживаемой в опыте субъективной внутренней жизнью [8, 13].

Если достигнут предел $XV_Z(\infty)$, но текущая задача или какая-либо Z-задача из BT не решена, то запускается корректировка контекста K_Z . Корректировка K_Z запускается всегда, когда появляется фальсифицирующая α . Это рефлективная петля III-го типа (РП3) или рефлексия высокого порядка. В процессе РП3 часть задач из BT могут быть включены в соответствующие $\Omega(Z)$.

После РП3 всегда запускаются РП2 и РП1. В итоге могут иметь место двойные и тройные (внутренние) рефлективные петли. Примером двойной петли может служить петля научения К. Арджириса. Важно отметить, что при запуске РП3 дестабилизируется (разрушается) не только текущая собственная модель поведения $EB_Z(n)$, но также $XV_Z(n)$ по всем или многим Z (так как банки тестов разных ментальных многообразий пересекаются), что гораздо более фундаментально, но вместе с тем и опаснее для устойчивости субъекта (агента).

Таким образом, РП1 отвечает за формирование актуального (текущего) опыта, РП2 отвечает за переживания и модификацию прошлого опыта, а РП3 отвечает за формирование фундамента на котором

происходит формирование опыта и разворачиваются переживания (РПЗ модифицирует самый глубокий мировоззренческий опыт в виде контекста K_z). Все три РП приводят к дестабилизации собственного поведения, а в ряде случаев к дестабилизации локальной и глобальной модели мира.

Примечание. Существуют также внешние рефлексивные петли, возникающие в рефлексивных играх, но в данной работе они не рассматриваются. Важно отметить, что в результате коммуникации рефлексиирующий субъект/агент может обрести «*метаобъективную позицию*».

Рассмотрим устойчивость *границ субъекта* на примере уровня рефлексии РП1. Мы имеем дело с субъектом-наблюдателем, рефлексивным субъектом, наблюдающим, в том числе и себя самого в разнообразии конкретных познавательно-проектных ситуаций. Именно переключение гештальта рассмотрения с объектного полюса (решения реальной Z-задачи) на субъектный (рефлексивные петли) определяет специфику *свободы выбора*. Другими словами, субъекты, осознающие высокий уровень сложности среды, в которой они существуют, достигают состояния *когнитивной циркулярности* (циклическое переключение с когнитивного на мета-когнитивный уровень, вызываемое сложностью мира). Подобная циркулярность позволяет найти рефлексивный выход в ситуации, когда появляется разрыв в деятельности.

Ситуативный выбор одной из моделей $\{EB_z(n)\}$ (текущего варианта *идентичности*) означает возможность как осознанного, так и спонтанного переключения модели собственного поведения. Следовательно, любая идентичность создается динамически, она не является окончательно заданным и устойчивым психическим феноменом. Именно поэтому рефлексия в ходе анализа так сложна. Переход к новой идентичности возможен лишь в том случае, если субъект располагает некоторым запасом психических ресурсов (для преодоления «*защитного пояса*»). Динамика переключения с одной модели на другую может напоминать странный аттрактор. В этом частично заключается пафос «спонтанности сознания».

На рис. 4 приведена итоговая модель деятельности субъекта и когнитивного агента ($\{СП\}$ - множество моделей собственного поведения). Под Z-задачами понимаются три основные задачи: а) различения: $\alpha(\{z/T\}, z/Z?)$; б) управления: дано $\alpha(\{z/T\}, z/Z)$, найти $U = \{S\}_U = \{z/T \rightarrow z'/T\}$ такое, что $z/Z \rightarrow z'/Z$; в) комбинированная задача: различение и управление [5]. Возможно отсутствие любых задач на входе, но переживание (мета-когнитивия) будет иметь место всегда.

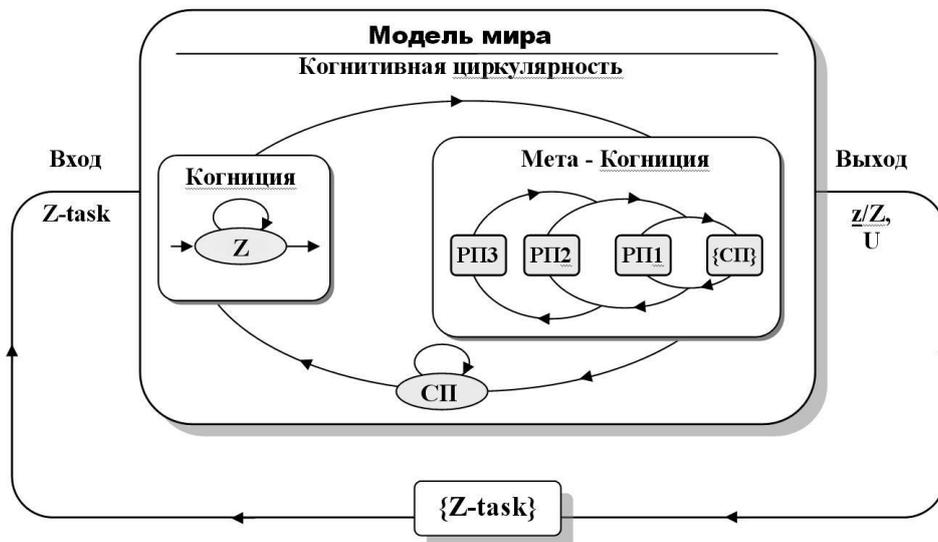


Рис. 4 – Модель деятельности субъекта/когнитивного агента (macrocognitive model)

Пусть мы имеем знания обо всех моделях собственного поведения некоторого субъекта, но мы не в состоянии однозначно предсказать точный ход его дальнейшего поведения, поскольку субъект руководствуется каким-то одним вариантом собственного поведения. И что самое важное, в точках выбора одного из вариантов собственного поведения он является принципиально неустойчивым (говоря современным научным языком, пребывает в точках бифуркации).

Развитие предполагает не только динамику, но и стабильность. Этот момент акцентируется Ж.Пиаже на примере динамического равновесия ассимиляции и аккомодации, равновесие которых обеспечивает адаптивное функционирование субъекта в изменяющемся мире. В нашей модели стабильность проявляется в выборе и фиксации СП $EB_z(n)$. Вместе с тем, собственное поведение, символизируя текущий опыт, служит, с одной стороны, основой для избежания ошибок, а с другой, является фундаментальным ограничителем креативности. В этом заключается *парадоксальность опыта*.

Фаза расширения в РП1 отражает процессуальный механизм *дестабилизации субъекта* в процессе

рефлексии (дестабилизации моделей собственного поведения, «моделей мира», опыта). Другими словами, рефлексия создает угрозу идентичности рефлексиирующего субъекта. Иными словами, в процессе рефлексии не только происходит нарушение идентичности, но может (всего лишь может) возникнуть новая идентичность субъекта (включая «модель мира»). Предлагаемая модель РП1 показывает (разрыв верхней дуги на рис. 3), что появление нового продуктивного психического содержания, в отличие от нарушения идентичности, не является обязательным результатом рефлексии. Это подтверждает выводы работы [8], в которой отмечается, что нарушение идентичности рефлексиирующего субъекта приводит к необходимости построения новой идентичности, однако это может быть и *патологически нарушенной идентичностью*. Одна из задач ИИС состоит в том, чтобы предотвратить подобные сбои у операторов сложных технологических процессов, включая врачей, педагогов, следователей, военных и т.д.

Таким образом, в фазе расширения стоит вопрос о том, что происходит с наблюдателем, когда он попадает в ситуацию принятия решения в условиях *сверхнеопределенности*, причем такая сверхнеопределенность понимается не как отсутствие информации, а, наоборот, как ее сверхизбыток. «Шум-среда» $XB_z(n+1)$, порождающая новые смыслы, однако, оказывается не деструктивным, мешающим началом, а некой порождающей позитивности средой. Шум-среда выступает, следовательно, в качестве условия возможности возникновения новых смыслов, новых концептуальных решений, а значит и нового собственного поведения.

Для нарушения своих границ и последующей повторной их демаркации (*сборка субъекта* [1,8]), самому субъекту необходимо располагать достаточным запасом (структурной) энергии. При отсутствии такого запаса у субъекта «не хватает сил» и рефлексия приводит к внезапному ухудшению исходного (психологического) состояния и разрушению моделей собственного поведения.

Рассмотренный выше процесс дестабилизации позволяет провести аналогию между рекурсивными процессами рефлексии и процедурами теории возмущений [1]. Если дестабилизацию в фазе расширения рассматривать как возмущение, то можно выделить процессы трех типов:

а) *норма*: имеющейся энергии (ресурсов) достаточно, чтобы нейтрализовать начальное возмущение, процесс не выходит за рамки области сходимости или горизонта предсказуемости; рефлексивный процесс регулярно сходится к «собственному поведению», корректирующему исходное представление и шаг за шагом утверждается в нем;

б) *хаос (сверхнеопределенность)*: имеющейся энергии (ресурсов) недостаточно для фазы локализации, процесс не сходится к «собственному поведению»; рефлексивные петли не стягиваются, но порождают «порочные» круги и хаос. Этот процесс, тем не менее, продуктивен и может использоваться как режим поиска, генерации новых контекстов;

в) *смешанная альтернатива*: так называемый *асимптотический ряд теории возмущений*. Его поведение необычно — на нескольких первых шагах (иногда довольно многочисленных) наблюдается процесс, сходящийся к определенному результату (рефлексивные петли стягиваются), но последующие итерации приводят не к уточнению, а к ухудшению результата, ряд расходится.

Основной причиной хаоса и асимптотического ряда является нехватка структурной энергии. Важным защитным механизмом от подобных явлений служит *блокировка рефлексии* (рис. 3). Возможность блокировки означает наличие *порога индивидуальной рефлексии*, что позволяет говорить о существовании *оптимума рефлексивности* [8].

Выше была рассмотрена дестабилизация в рамках РП1. Более основательная дестабилизация наступает в результате РП3: весь процесс формирования опыта начинается практически заново. Для РП3 характерны те же три режима, но для завершения рефлексивной петли нужна значительно большая энергия, чем для РП1.

Заключение. Изложенный подход в достаточной степени конструктивен, поскольку позволяет на основе парадигмы предельных обобщений нередукционистски соединить в ИИС те концепции сложности, которые возникли в последние десятилетия в естественных науках, в частности, синергетику Г.Хакена, теорию диссипативных структур И.Пригожина, кибернетику второго порядка фон Ферстера, теорию автопоэзиса Вареллы, Матураны и Лумана.

Практические аспекты реализации предлагаемого подхода рассмотрены в [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Буданов В.Г. Делокализация как обретение смысла, к опыту междисциплинарных технологий // Онтология и эпистемология синергетики. – М.: ИФ РАН, 1997. – С. 87-100.
2. Валькман, Ю. Р. Модельно-параметрическое пространство: теория и применение / Ю. Р. Валькман, В. И. Гриценко, А. Ю. Рыхальский. – К. : Наукова думка, 2012. – 190 с.
3. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. I. Модели многоагентной самоорганизации // Известия РАН «Теория и системы управления», 2012, № 2, с. 92–120

4. Иващенко А.В. Обеспечение согласованного взаимодействия в интегрированной информационной среде предприятия. – Самара: СНЦ РАН, 2011. – 206 с
5. Прокопчук Ю. А. Принцип предельных обобщений: методология, задачи, приложения. Монография. – Дн-вск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2012.- 384 с.
6. Прокопчук Ю.А. Модели спонтанной когнитивной динамики // Материалы III Международной научной конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем – OSTIS-2013» (Минск, 21-23 февраля 2013 г.). – Минск: БГУИР, 2013. – С. 251 – 256.
7. Смирнов С.В. Онтологический подход к формированию гетерогенных сред моделирования // Вестник Самарского гос. техн. ун-та, 2011. Сер. «Технические науки» - № 4 (32). Самара: СамГТУ, 2011. С. 50 – 62.
8. Солондаев В.К. Дестабилизация субъекта в процессе рефлексии // Рефлексивные процессы и управление. No 1-2, том 11, 2011. С. 34–45.
9. Odell J. Agents and Complex Systems // Journal of Object Technology, vol.1, no. 2, 2002, pp. 35-45.
10. Von Foerster H. Principles of self-organization in socio managerial context // Self-organization and management of social system / Springer Series in Synergetics: Springer-Verlag. - Vol.26. - 1984.
11. Burns C.M., Hajdukiewicz J.R. Ecological interface design. – CRS Press LLC, 2004.
12. Leedom, D.K. Final Report: Sensemaking Symposium. Vienna, VA: Evidence Based Research. Inc., 2001. – 32 p.
13. Bateson G. Mind and Nature: A Necessary Unity. - Toronto: Bantam Books, 1979.
14. Dixon, J. A., Holden, J. G., Mirman, D. and Stephen, D. G. Multifractal Dynamics in the Emergence of Cognitive Structure // Topics in Cognitive Science, 2012, Vol. 4: 51–62.

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

Научные интересы: интеллектуальные среды, системы поддержки принятия решений, интеллектуальные системы, базы знаний, когнитивные технологии