

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МЫШЛЕНИЯ  
И ФОРМАЛИЗАЦИЯ РЕФЛЕКСИИ****I. Теоретико-модельная формализация онтологии и рефлексии\****Д.Е. Пальчунов***Введение**

Настоящая работа посвящена проблеме моделирования на компьютере интеллектуальной деятельности человека. Эта проблема тесно связана с ответом на вопрос, возможно ли реализовать интеллектуальную, познавательную и творческую деятельность при помощи компьютерных программных систем. Мы предлагается подход к решению данной проблемы, основанный на анализе и теоретико-модельной формализации понятий сознания, представления, образа, рефлексии, абстрактно-логического и конкретно-образного мышления.

В первой части работы «I. Теоретико-модельная формализация онтологии и рефлексии» исследуется возможность формализации понятий представления, осознания, рефлексии и онтологии предметной области в теоретико-модельных терминах. Дается определение уровня осознания ситуации на языке атомарных диаграмм алгебраических систем, рассматриваемых в сигнатуре языка сознания.

Мы показываем, что язык (сигнатура) восприятия отличается от языка (сигнатуры) сознания. Язык сознания включает в себя как понятия естественного языка, так и определенные референции на образы. Последние дают

---

\* Исследования, нашедшие отражение в данной статье, Междисциплинарным интеграционным проектом Сибирского отделения РАН № 1 – «Вычислимость и рациональность: исследование сферы применимости тезиса Черча – Тьюринга и понятия эффективного вычисления к проблеме соотношения дедуктивного и эмпирического способов познания когнитивных и физических процессов».

возможность осознанного образного мышления. Поэтому для формализации языка сознания необходимо дать формальное представление как систем понятий естественного языка, так и образов и их референций. Первая из этих проблем исследуется в настоящей работе.

Здесь также показывается, что онтология предметной области является в точности формальным представлением набора понятий, на языке которых понимается и описывается эта предметная область, и формальной спецификацией смысла этих понятий для данной предметной области. Дается теоретико-модельная формализация онтологии предметной области в виде пары: сигнатура и аналитическая теория предметной области. Исследуется представление системы предметных областей в виде иерархии онтологий.

### **Компьютерное моделирование интеллектуальной деятельности**

В 2006 г. исполнилось ровно 50 лет с начала исследований в области искусственного интеллекта. Дж. Маккарти (J. McCarthy) ввел термин «искусственный интеллект» на первой конференции, посвященной этому предмету, которая состоялась в июле 1956 г., – Дартмутской летней научной конференции по искусственному интеллекту (The Dartmouth Summer Research Conference on Artificial Intelligence). Тем не менее в настоящий момент трудно сказать, что созданы компьютерные программы, которые могут «мыслить». Более того, многие авторы высказывают мнение, что компьютер принципиально не может мыслить, а способен только «шлепать» то, что ему запрограммировал человек. Проанализируем, чем интеллектуальная деятельность компьютера принципиально отличается от человеческой и почему она не является полноценной интеллектуальной деятельностью.

В силу чего возникает сомнение в том, что компьютер с работающими на нем программными системами может обладать интеллектом, сходным с человеческим? Заметим, что определенные вычислительные задачи компьютерные программы решают не только лучше, чем человек, – они делают то, что человеку в принципе не под силу сделать даже за всю его жизнь. Можно ли на этом основании говорить, что такие компьютерные программы обладают интеллектом? Очевидно, нет. Ведь даже хорошо сделанный арифмометр может проделывать арифметические операции быстрее и качественнее человека, но никто не скажет на этом основании, что арифмометр обладает интеллектом.

Один из наиболее важных аргументов против «осмысленности» и «интеллектуальности» работы программных систем – это то, что деятельность компьютерных программ нельзя назвать творчеством. Утверждается, что поскольку работа программы детерминирована, программа может сделать только то, что в явном виде записал программист. Иными словами, в работе программных систем отсутствует то, что в психологии называется спонтанностью поведения [1] (заметим, что существует форма психического расстройства, при которой у человека нарушается спонтанность поведения).

С детерминированностью и спонтанностью тесно связано еще одно свойство деятельности человека, отличающее его от существующих программных систем, – целенаправленность. Успешная, а тем более, творческая деятельность требует умения ясно формулировать цель и строить план достижения этой цели. Для получения принципиально новых, творческих результатов необходимо выполнение задач, поставленных «в целом». Это требует декомпозиции задач на подзадачи, определения критериев выполнения подзадач, выполнения этих подзадач, проверки выполнения задачи, доработки, если задача выполнена не полностью или неудовлетворительно. Такие же умения необходимы для принятия решений в сложных, нетиповых ситуациях.

Заметим, что деятельность по достижению сложных целей трудно представить без наличия эмоциональной оценки как подцелей, достижение которых необходимо для движения к цели, так и отдельных действий и их результатов в рамках такой целенаправленной деятельности [2]. Эмоции – это своеобразная энергия целенаправленной деятельности. Кроме того, эмоциональная оценка является синтетической, позволяет определять успешность процесса «в целом». В этом эмоции тесно связаны с образным представлением действительности и образным мышлением.

Наконец, для того чтобы деятельность по достижению сложных, неполно и неточно сформулированных целей была успешной, необходима «обратная связь» – анализ уже проделанной работы, достигнутых успехов и произошедших неудач. Эту часть целенаправленной деятельности можно назвать рефлексией. У человека рефлексия тесно связана с выражением его опыта на естественном языке. То, что в настоящее время творческую деятельность не может осуществлять компьютер, вполне может быть связано с неудачей имеющихся попыток автоматического распознавания смысла текстов естественного языка.

Таким образом, один из возможных вариантов того, как научить компьютер «мыслить» – это научить его «понимать» естественный язык (или хотя бы некоторый достаточно выразительный фрагмент естественного языка), выражать известную ему информацию (например, находящуюся в базе данных) на естественном языке, извлекать из текстов естественного языка информацию и превращать ее в формализованный вид.

Итак, сформулируем то, чего не хватает компьютерным программам, для того чтобы быть полноценным творческим интеллектом (это, безусловно, необходимые, но не достаточные требования):

- спонтанность;
- целенаправленность;
- эмоциональная оценка и мотивация;
- образное мышление;
- осознание своей деятельности и рефлексия;
- представление информации на естественном языке.

В рамках нашего подхода мы не придерживаемся той точки зрения, что интеллектуальная и творческая деятельность человека не может быть реализована на компьютере. По существу, мы сводим эту общую проблему к решению более частных задач, решение которых уже не представляется настолько невозможным.

### **Формальный подход к определению сознания и рефлексии**

Как было отмечено выше, одной из задач, возникающих при компьютерном моделировании интеллектуальной и творческой деятельности человека, является программная реализация феноменов сознания и рефлексии. Понятия сознания и рефлексии тесно связаны между собой (причем до такой степени, что некоторые авторы их даже отождествляют). Рассмотрим, как эти понятия определяются в современной психологии.

В работах В.М. Аллахвердова [3] и В.О. Леонтьева [4] изложен ряд подходов к определению понятия сознание. Здесь мы приведем классификацию, представленную у В.О. Леонтьева.

1. Сознание – это некий сложный психический феномен, которым обладают люди в отличие от животных. Возможно, сознанием в какой-то степени обладают высшие животные. Низшие животные сознанием не обладают. Сознанием не обладают новорожденные и маленькие дети до определенного этапа своего развития. Определение сознания должно

давать возможность указать момент в процессе развития ребенка, когда у него появляется сознание.

2. Сознание – это психическое состояние. При нормальных условиях человек сознанием обладает. Однако во сне, под гипнозом, под влиянием наркотических веществ человек может находиться в бессознательном состоянии. Возможны и такие промежуточные состояния, когда человек частично находится в сознании. Сознание как общая способность мозга отличается от процесса осознания конкретного явления или объекта.

3. Есть осознаваемые и неосознаваемые области человеческой памяти – в том смысле, в каком определил эти понятия Фрейд. Внешние объекты, воздействия и процессы также могут осознаваться и не осознаваться.

4. Осознавать можно как внешние объекты, так и самого себя как часть внешнего мира. Сознание подразумевает способность к самосознанию (т.е. рефлексии).

5. Считается, что люди сознанием обладают. Однако им обладают не все люди. Есть тяжело больные и люди с психическими расстройствами, о которых можно предположить, что они сознанием (в определенном смысле) не обладают. Например, в работах Л. Ван дер Хорста, а также П. Тасси и Э. Мьюзета [5] утверждается, что больные синдромом Корсакова не способны сознательно отражать свое положение в мире. И наоборот, возможно, некоторые животные, особенно живущие рядом с человеком, обладают сознанием, – обсуждается вопрос о сознании у млекопитающих и даже у птиц [6].

6) Имеется тесная связь сознания с памятью, процессами внимания и другими психическими механизмами.

В данном разделе мы опишем наш подход к определению рефлексии и сознания в теоретико-модельных терминах, что необходимо для исследования возможности формализации творческой деятельности человека на компьютере. Для простоты мы будем считать, что психически здоровый взрослый человек в нормальном состоянии сознанием обладает, животные сознанием не обладают, у детей сознание появляется только в определенном возрасте.

Под рефлексией (в узком смысле) мы содержательно будем понимать целенаправленное обращение к предыдущему опыту, помещению частей этого опыта в локус внимания, анализ и «переживание заново» этого опыта.

Вместо определения сознания мы сначала определим, что такое уровень осознания. Мы предполагаем, что возможны разные уровни осознания одной и той же ситуации. Уровень осознания ситуации обусловлен объемом информации об этой ситуации, которая «прошла» через локус внимания и «помещена» в представление о данной ситуации. Если к указанной информации о ситуации добавить эмоциональные оценки различных частей информации, то мы получим образ ситуации (или, более точно, набор образов, соответствующих данной ситуации). Уровни осознания ситуации частично упорядочены по отношению включения.

При формализации локуса внимания мы уподобляем его «головке» машины Тьюринга. В каждый момент времени «головка» машины Тьюринга «видит» определенную ячейку памяти, содержащую некоторый символ (обычно это 0 или 1, но можно рассматривать символы произвольного алфавита). Исходя из содержимого ячейки машина Тьюринга «принимает решение», изменить ли состояние и передвинуться вправо, влево или остаться на месте.

Точно так же и в нашей формальной модели локус внимания в данный момент времени видит определенную часть реальности ( $7 \pm 2$  единицы информации), представленную органами чувств, и исходя из содержимого этой информации «движется» по воспринимаемой органами чувств реальности.

Таким образом, формальное определение рефлексии мы будем давать в следующем порядке: сначала мы формально определим поток восприятия (который порождается органами чувств), далее определим, что такое локус внимания, затем дадим определение уровня осознания ситуации и, наконец, дадим формальное теоретико-модельное определение рефлексии. Отметим, что предлагаемый набор определений не претендует на какую-либо степень общности и, тем более, на то, чтобы быть единственно возможным формальным определением сознания и рефлексии. Эти определения нужны нам для того, чтобы математически точно сформулировать проблему моделирования творческой деятельности человека при помощи компьютерных программ.

### **Теоретико-модельная формализация восприятия и сознания**

В этом разделе мы дадим формальные определения потока восприятия, локуса внимания, уровней осознания ситуации и рефлексии на языке теории моделей. Теоретико-модельный язык выбран нами по следующей причине. Широко известен Тезис Черча, состоящий в том, что любая

функция, которая, с точки зрения человека, интуитивно вычислима, является частично рекурсивной (или, что эквивалентно, является вычислимой на машине Тьюринга). По существу, Тезис Черча – это эмпирический постулат, который в силу того, что является  $\forall$ -формулой, не может быть доказан, но может быть опровергнут (в том случае, если он не является истинным). В течение полувека, после того как Тезис Черча был сформулирован, неоднократно осуществлялись попытки его опровергнуть. Однако все эти попытки оказались безуспешными. Поэтому его истинность в настоящий момент мало у кого вызывает сомнение.

С нашей точки зрения, по аналогии с Тезисом Черча можно было бы сформулировать следующий эмпирический постулат.

***Тезис Мальцева – Тарского.** Всякое описание ситуации, которое, с точки зрения человека, является полным, точным и формальным, может быть представлено в виде алгебраической системы.*

Или, более кратко, *всякая формальная модель представима как алгебраическая система.* Как следствие этого тезиса, *всякое формальное описание может быть дано в теоретико-модельных терминах.*

Как и Тезис Черча, этот эмпирический постулат не был опровергнут за более чем полвека, прошедшие со времени создания А.И. Мальцевым и А. Тарским теории моделей.

С другой стороны, все, что может быть реализовано как программная система, должно иметь полное формальное описание. Исходя из этого, если мы хотим промоделировать определенные виды человеческой деятельности (в частности, творчество) на компьютере, мы должны дать им точное формальное описание. Следовательно, согласно тезису Мальцева – Тарского должно быть и теоретико-модельное описание моделируемой деятельности человека.

Введем некоторые необходимые определения и обозначения. Определения и формулировки, касающиеся теории моделей, можно найти в работах Ю.Л. Ершова и Е.А. Палюгина [7], Г. Г. Кейслера и Ч.Ч. Чена [8].

Сигнатурой  $\sigma$  назовем кортеж  $\langle P_1, \dots, P_n, f_1, \dots, f_k, c_1, \dots, c_l \rangle$ , где  $P_1, \dots, P_n$  – символы предикатов,  $f_1, \dots, f_k$  – символы функций (операций);  $c_1, \dots, c_l$  – символы констант (т.е. выделенных элементов). Алгебраической системой (или, что то же самое, моделью) сигнатуры  $\sigma$  мы называем кортеж  $\langle A; \sigma \rangle = \langle A; P_1, \dots, P_n, f_1, \dots, f_k, c_1, \dots, c_l \rangle$ , где  $A$  – основное множество (универсум) алгебраической системы, причем на  $A$  определены все сигнатурные символы из  $\sigma$ . По существу,  $\sigma$  – это язык

(т.е. множество понятий), на котором мы говорим об алгебраической системе  $\langle A; \sigma \rangle$ .

**Определение 1.** Через  $S(\sigma)$  обозначим множество всех предложений, т.е. формул без свободных переменных, сигнатуры  $\sigma$ . Если  $\varphi \in S(\sigma)$ , то  $\langle A; \sigma \rangle \models \varphi$  означает, что на модели  $\langle A; \sigma \rangle$  истинно предложение  $\varphi$ . Обозначим  $\text{Th}(\langle A; \sigma \rangle) = \{\varphi \in S(\sigma) \mid \langle A; \sigma \rangle \models \varphi\}$ .  $\text{Th}(\langle A; \sigma \rangle)$  называется элементарной теорией модели  $\text{Th}(\langle A; \sigma \rangle)$ .

Формулу  $\varphi$  назовем атомарной, если  $\varphi = P(c_1, \dots, c_n)$  или  $\varphi = (f(c_1, \dots, c_n) = c_0)$ , где  $P$  – символ предиката,  $f$  – символ операции (функции);  $c_0, c_1, \dots, c_n$  – символы констант. Через  $S_a$  обозначим множество всех атомарных предложений, через  $S_a(\sigma)$  – множество всех атомарных предложений сигнатуры  $\sigma$ .

Для алгебраической системы  $\langle A; \sigma \rangle$  каждому элементу  $a \in \langle A; \sigma \rangle$  сопоставим новый константный символ  $c_a$ , так чтобы  $c_a \notin \sigma$ , причем считаем, что разным элементам соответствуют разные константные символы. Обозначим  $\sigma_A = \sigma \cup \{c_a \mid a \in A\}$ . Определим модель  $\langle A; \sigma_A \rangle$  следующим образом: значением каждой константы  $c_a$  является сам элемент  $a$ , а остальные сигнатурные символы на модели  $\langle A; \sigma_A \rangle$  определяются так же, как и на исходной модели  $\langle A; \sigma \rangle$ . Элементарной диаграммой модели  $\langle A; \sigma \rangle$  назовем множество предложений

$$D(\langle A; \sigma \rangle) = \{\varphi \in S(\sigma_A) \mid \varphi \text{ – бескванторное предложение и } \langle A; \sigma_A \rangle \models \varphi\},$$

полной диаграммой модели  $\langle A; \sigma \rangle$  – множество предложений

$$FD(\langle A; \sigma \rangle) = \{\varphi \in S(\sigma_A) \mid \langle A; \sigma_A \rangle \models \varphi\},$$

атомарной диаграммой модели  $\langle A; \sigma \rangle$  – множество предложений

$$AD(\langle A; \sigma \rangle) = \{\varphi \in S_a(\sigma_A) \mid \langle A; \sigma_A \rangle \models \varphi\}.$$

**Замечание 1.**

а)  $FD(\langle A; \sigma \rangle) = \text{Th}(\langle A; \sigma_A \rangle)$ ;



**б)**  $AD(\langle A; \sigma \rangle) \mid D(\langle A; \sigma \rangle)$ , т.е. для любого предложения  $\varphi \in D(\langle A; \sigma \rangle)$  выполнено  $AD(\langle A; \sigma \rangle) \mid \varphi$ ;

**в)**  $D(\langle A; \sigma \rangle) = \{\varphi \in S(\sigma_A) \mid \varphi \text{ – бескванторное предложение и } AD(\langle A; \sigma \rangle) \mid \varphi\}$ ;

**г)** атомарная диаграмма  $AD(\langle A; \sigma \rangle)$  определяет модель  $\langle A; \sigma \rangle$  с точностью до изоморфизма. В частности, атомарная диаграмма  $AD(\langle A; \sigma \rangle)$  однозначно определяет элементарную диаграмму  $D(\langle A; \sigma \rangle)$  и полную диаграмму  $FD(\langle A; \sigma \rangle)$ .

Таким образом, атомарная диаграмма  $AD(\langle A; \sigma \rangle)$  синтаксически определяет элементарную диаграмму  $D(\langle A; \sigma \rangle)$  и семантически определяет полную диаграмму  $FD(\langle A; \sigma \rangle)$ .

Мы изложили необходимые определения из теории моделей. Введем теперь ряд определений, с помощью которых мы будем осуществлять формализацию понятия рефлексии. Наш подход в известной степени близок к идеям ситуационной семантики языка Дж. Барвайса и Дж. Пери [9].

**Определение 2.** Обозначим  $S_{ca} = \{\varphi \mid \varphi \text{ – конъюнкция атомарных предложений, т.е. } \varphi = \psi_1 \& \dots \& \psi_n, \text{ где } \psi_i \in S_a\}$ .

Для сигнатуры  $\sigma$  обозначим  $S_{ca}(\sigma_A) = \{\varphi \in S(\sigma_A) \mid \varphi \in S_{ca}\}$  и  $I(\sigma) = \{\varphi \mid \varphi \in S_{ca}(\sigma_A) \text{ для некоторого } A \text{ и } \neg\varphi \text{ недоказуемо}\}$ .

**Замечание 2.**  $\varphi \in I(\sigma)$  тогда и только тогда, когда  $\varphi \in S_{ca}$  и  $\varphi \in D(\langle A; \sigma \rangle)$  для некоторой модели  $\langle A; \sigma \rangle$ .

Таким образом, множество  $I(\sigma)$  состоит из описаний (неполных) частей различных моделей данной сигнатуры.

Идея предлагаемого подхода к формализации восприятия, сознания и рефлексии состоит в следующем.

Мы рассматриваем поток восприятия как последовательность описаний некоторых объектов. Эти описания представляют собой конъюнкции атомарных предложений языка восприятия. Описания не являются полными: например, человек видит некоторый объект, он различает цвет этого объекта, но не воспринимает его температуру и вес. Или, наоборот, человек взял в руки некоторый предмет, ощущает его температуру и тяжесть, но не видит цвета этого предмета. Более того, даже если мы ограничимся, например, только визуальным восприятием, также имеет место

неполнота восприятия. Человек может видеть предмет, но наблюдая его под определенным углом либо при слабом (или специфическом, цветном) освещении может не видеть полностью форму предмета или не различать его цвет.

Таким образом, поток восприятия в теоретико-модельных терминах можно представить как поток конъюнкций атомарных предложений языка восприятия.

Часть информации, содержащейся в потоке восприятия, осознается и тем самым включается в поток сознания. Здесь необходимо отметить два момента. Во-первых, осознается не вся информация, содержащаяся в потоке восприятия, а только ее часть, прошедшая через локус внимания. Во-вторых, осознается информация не в терминах потока восприятия, а в других, которые можно назвать терминами сознания.

Проиллюстрируем это на следующем примере. Нормальный человек воспринимает очень много оттенков красного цвета. Это легко проверить, предъявляя ему пары карточек, имеющих разные оттенки красного цвета, – он будет различать эти оттенки. Однако также легко проверить, осознает ли человек все эти оттенки. Для этого достаточно предъявить сначала одну красную карточку, сразу за этим на очень краткое время предъявить, например, зеленую карточку и сразу же после этого – вторую красную карточку другого оттенка. Если задать вопрос, одинакового ли цвета красные карточки или разного, ответы будут совершенно случайными.

Более точно, ответы на этот вопрос в серии подобных экспериментов будут демонстрировать установку по Д. фон Узнадзе [10]. Для этого сначала нужно проделать такой эксперимент с осознаваемо разными карточками (например, алой и темно-красной), а затем случайным образом предъявлять одинаковые карточки и разные, но очень близких оттенков.

Эти эксперименты показывают следующее. Если человек имеет вербальное выражение для предъявляемых оттенков красного цвета (как, например, «алый» и «темно-красный»), он будет их осознавать и при проведении эксперимента различать. Таким образом, термины восприятия, представленные понятиями естественного языка, осознаются. С другой стороны, есть термины восприятия, которые не могут быть осознаны, т.е. не могут быть переведены с языка восприятия на язык сознания.

Возникает вопрос: что собой представляет язык сознания? Одна из крайних точек зрения заключается в том, что это в точности обычный естественный язык, т.е. все термины потока сознания суть понятия

естественного языка. Эта точка зрения основывается на идее о существовании первой и второй сигнальной системы. Другая крайняя точка зрения состоит в том, что язык потока сознания включает в себя язык потока восприятия. Наиболее «экстремальный» тезис в рамках этой точки зрения таков: все, что воспринято, является осознанным.

Интересно, что сторонников двух указанных точек зрения четко разделяет следующий вопрос: есть ли у собаки сознание? Например, И.П. Павлов крайне негативно относился даже к фразе «собака потеряла сознание», произносимой иногда лаборантами. Он считал, что данная фраза содержит пресуппозицию, что собака может иметь сознание, а это, по его мнению, являлось совершенно неверным.

В то же время очень многие философы и психологи полагают, что животные обладают сознанием [11]. Если придерживаться такой точки зрения, то, очевидно, для сознания язык не является необходимым. Более того, практически стирается грань между восприятием и сознанием.

Мы не будем принимать ни одну из описанных выше крайних точек зрения. С одной стороны, в нашей формализации мы будем проводить принципиальное различие между восприятием и сознанием и, следовательно, между потоком восприятия и потоком сознания, между языком (сигнатурой) восприятия и языком (сигнатурой) сознания. Более того, на наш взгляд, более разумно и удобно предполагать, что эти языки (и соответственно сигнатуры) не пересекаются. С другой стороны, в язык потока сознания мы будем включать не только естественный язык со всем его набором понятий, но и другие понятия, соответствующие образному мышлению.

Также заметим, что не все вербальные компоненты потока восприятия автоматически осознаются. Это легко видеть в процессе редактирования различных текстов. Человек может даже проговаривать написанный текст, но не осознавать некоторые его фрагменты, в силу чего он может пропускать явные ошибки.

Отметим, что полное решение и даже полная формальная постановка указанных проблем выходят за рамки целей первой части данной работы и будут продолжена в последующих частях. Целями настоящей статьи являются формальное определение потока сознания и уровня осознания, указание прямой связи проблемы формализации сознания и рефлексии с понятием онтологии предметной области и теоретико-модельное исследование онтологии.

Зафиксируем некоторую сигнатуру  $\sigma_p$ , которую будем называть сигнатурой восприятия. Она содержит все сущности и отношения, на языке которых происходит восприятие человеком окружающего мира. В  $\sigma_p$  входят все различаемые цвета, ощущения различных температур, запахи, всевозможные ощущения вкуса, другие кинестетические ощущения, внутренние ощущения (т.е. ощущения собственного тела) и т.д.

**Определение 3.** Поток восприятия назовем отображение  $F_p: T \rightarrow \mathcal{K}(\sigma_p)$ , где  $T$  – некоторое линейно упорядоченное множество моментов времени.

Множество моментов времени  $T$  можно считать конечным множеством вещественных чисел. С точки зрения экспериментальной практики естественно предполагать, что множество  $T$  состоит из рациональных чисел – конечных десятичных дробей, причем разность между двумя соседними элементами множества  $T$  определяется скоростью процессов в мозге человека и, как правило, достаточно брать ее равной 0,01 секунды.

Рассмотрим сигнатуру сознания  $\sigma_c$ . Она содержит понятия некоторого фрагмента естественного языка и «имена» образов. Здесь мы не будем давать точное теоретико-модельное определение понятий представления и образа, дадим только некоторые пояснения, необходимые для целей настоящего изложения.

Образ мы понимаем как пару представление – эмоция. Представление – это элемент  $\psi$  множества  $\mathcal{K}(\sigma_c)$ , обладающий свойствами лингвистического гештальта [12]. Эти свойства, по существу, означают, что человек может себе помыслить ситуацию, в которой указанное выше предложение  $\psi$  истинно, причем эту ситуацию целиком он может окинуть «единым взором».

На языке алгебр Линденбаума – Тарского свойства формального лингвистического гештальта были сформулированы нами ранее [13], с использованием введенного в той же работе понятия алгебры контекстов. Это следующие свойства:

$$\begin{aligned} & \text{формальное разнообразие} \\ & \forall a \forall b ((a \in G) \& (b \in G) \& (a \neq b)) \rightarrow \exists c \exists d ((c \in \sigma) \& (d \in \sigma) \& (c \in \pi_2(a)) \& (d \in \pi_2(b)) \& (c \notin \pi_2(b)) \& (d \notin \pi_2(a))); \\ & \text{формальная связанность} \\ & \forall a \forall b ((a \in \pi_2(b)) \& (b \in G)) \rightarrow \exists c ((c \neq b) \& (c \in G) \& (a \in \pi_2(c))); \end{aligned}$$

*формальное расстояние*

$$\forall a \forall b ((a \in G) \& (b \in G) \& (a \neq b)) \rightarrow \exists c \exists d \exists e (((d \in \pi_2(a)) \& (d \in \pi_2(b))) \vee ((c \in G) \& (d \in \pi_2(a)) \& (d \in \pi_2(c)) \& (e \in \pi_2(b)) \& (e \in \pi_2(c)))).$$

Определения алгебры контекстов  $\pi_1(a)$  и  $\pi_2(a)$  даны в нашей работе 2000 г. [14]. Если говорить кратко, то элемент  $a$  алгебры контекстов – это пара:  $\pi_1(a)$  – предложение естественного языка ( $a$  в нашем случае – элемент  $\psi$  множества  $I(\sigma_c)$ ) и  $\pi_2(a)$  – сигнатура этого предложения (т.е. набор понятий, входящий в предложение);  $G$  – рассматриваемый лингвистический гештальт.

Таким образом, в нашем рассмотрении образ – это пара  $(\psi, i)$ , где  $\psi$  – представление, т.е. лингвистический гештальт  $\psi \in I(\sigma_c)$ , а  $i$  – эмоциональная оценка представления  $\psi$ . Формализация эмоциональных оценок будет дана в следующей части настоящей работы.

Итак, сигнатура сознания  $\sigma_c$  состоит из понятий некоторого фрагмента естественного языка и «имен» образов. Структура понятий естественного языка представляет собой иерархию онтологий. Теоретико-модельная формализация онтологий будет изложена в следующем разделе.

**Определение 4.** Осознанием назовем отображение  $C: I(\sigma_p) \rightarrow I(\sigma_c)$ .

Это отображение по каждому фрагменту восприятия, представленному в терминах  $\sigma_p$ , порождает представление – предложение сигнатуры  $\sigma_c$ .

**Определение 5.** Отображение  $L_p: I(\sigma_p)_{HT} \rightarrow I(\sigma_p)$  назовем локусом внимания.

Локус внимания в каждый момент времени «вырезает» из потока восприятия небольшой фрагмент информации, который может быть осознан в этот момент.

**Определение 6.** Пусть  $F_p: T \rightarrow I(\sigma_p)$  – поток восприятия. Потоком сознания назовем отображение  $F_c: T \rightarrow I(\sigma_p)$ , которое является композицией отображений  $F_p, L_p$  и  $C$ :

$$F_c = F_p \circ L_p \circ C, \text{ т.е. } F_c(t) = C(L_p(F_p(t), t)).$$

Таким образом, из потока восприятия локус внимания выделяет наиболее важную информацию, которая в этот момент осознается и помещается в поток сознания.

**Определение 7.** Пусть  $F_c: T \rightarrow I(\sigma_p)$  – поток сознания. Уровнем осознания ситуации в момент времени  $t$  назовем предложение  $F_c(t) \in I(\sigma_p)$ .

Уровень осознания ситуации определяется тем, какие объекты и отношения между ними осознаются в данный момент времени. Различные уровни осознания частично упорядочены отношением  $\leq$ . Можно линейно упорядочить уровни осознания, приписав каждому из них числовое значение следующим образом:

$$2F_c(t) = 2\{\varphi \in I(\sigma_c) \mid \varphi \in S_a \text{ и } F_c(t) \mid \varphi\}2 -$$

количество атомарных предложений из  $I(\sigma_c)$ , выводимых из  $F_c(t)$ . Значение  $2F_c(t)2$  указывает, сколько конкретных свойств и отношений между различными объектами осознается в данный момент времени.

**Определение 8.** Значение  $2F_c(t)2$  назовем величиной уровня осознания ситуации в момент времени  $t$ .

Если множество  $F_c(t)$  пусто, то величина  $2F_c(t)2$  уровня осознания ситуации в момент времени  $t$  равна 0. Это не означает, что в этот момент времени сознание отсутствует. Сознание в данный момент времени может быть направлено внутрь, на предыдущий опыт. Внешне человек в такой момент выглядит находящимся в глубокой задумчивости. По существу, это означает, что в данный момент времени происходит рефлексия.

Для полного формального определения рефлексии у нас еще нет достаточного набора формальных понятий. В частности, точно не определено содержание сигнатуры  $\sigma_c$ , – чтобы сделать это, нам нужно дать формальное определение онтологии предметной области, иерархии онтологий, множества понятий естественного языка, входящих в «язык» сознания, языка образного мышления. Поэтому мы определим понятие рефлексии не до конца точно и формально. Сначала нам потребуется понятие памяти (совпадающее с тем, что во многих источниках называется долговременной памятью [15]).

Сразу возникает искушение определить память  $M$  как полную память  $MC = \{F_c(t) \mid t \in T\}$ , т.е. как множество всех представлений о ситуациях, которые были осознаны в различные моменты времени. Однако подобное определение противоречило бы такому очевидному факту, как то, что человек не помнит сейчас те вещи, которые он хорошо помнил год назад. Это происходит потому, что полная память  $MC$  постоянно редуцируется, сокращается (в частности, и из-за ресурсных ограничений). Кроме того, как

это отмечает В.О. Леонтьев [16], из памяти удаляется множество всех вытесненных (в смысле З. Фрейда) к моменту времени  $t$  объектов, представлений и образов.

**Определение 9.** Полной память в момент времени  $t_0$  назовем множество

$$MC(t_0) = \{F_c(t) \mid t \in T \text{ и } t < t_0\}.$$

Полной памятью назовем отображение  $MC: T \rightarrow \zeta(I(\sigma_c))$ , определенное выше; здесь  $\zeta(I(\sigma_c))$  обозначает множество всех подмножеств множества  $I(\sigma_c)$ .

Отображение  $\text{Red}: \zeta(I(\sigma_c))HT \rightarrow \zeta(I(\sigma_c))$  назовем редукцией полной памяти.

Памятью (долговременной памятью) назовем отображение  $M: T \rightarrow \zeta(I(\sigma_c))$  такое что для любого  $t \in T$

$$M(t) = \text{Red}(MC(t), t).$$

Таким образом, память в данный момент времени – это то, что «осталось» от множества всех осознанных представлений после применения редукции полной памяти.

Теперь мы можем ввести, хотя и достаточно неформально, следующее определение.

**Определение 10.** Рефлексией назовем способность исходя из данного содержания  $F_c(t)$  потока сознания извлекать из памяти  $M(t)$  необходимую информацию – предложения, получившиеся в результате редукции предыдущих содержаний потока сознания. Таким образом, рефлексия – это отображение  $R: I(\sigma_c) \rightarrow \zeta(I(\sigma_c))$ , такое что для любого  $t \in T$

$$R(F_c(t)) \in M(t).$$

### Формальное определение онтологии

В инженерии знаний понятие «онтология» пришло из философии. В философии оно означает описание общей структуры мира. В инженерии знаний онтология описывает данную предметную область, или, более точно, данный класс предметных областей. Онтология отражает общее видение таких предметных областей.

Цель данного раздела заключается в представлении формального и точного определения онтологии предметной области. *Формальное* означает, что понятие онтологии будет описано в теоретико-модельных терминах. Точным предлагаемое определение онтологии является в том смысле, что в каждом конкретном случае можно однозначно установить, является ли рассматриваемый объект онтологией данной предметной области или нет.

Мы рассматриваем онтологию с точки зрения ее содержания. Исследуется вопрос: какую информацию о предметной области должна содержать онтология? Каково различие между онтологией предметной области и базой данных, которая включает в себя полное знание о предметной области? Таким образом, мы определяем онтологию в терминах содержательной информации о предметной области.

В настоящее время во многих исследованиях по представлению знаний используется понятие онтологии. К определению онтологии сегодня существуют различные подходы [17].

Приведем некоторых из них:

- 1) онтология – явная спецификация концептуализации [18];
- 2) онтология – это теория о том, какие объекты могут существовать в сознании хорошо осведомленного эксперта [19];
- 3) формальная онтология предназначена в качестве основания для того, чтобы строить взаимодействующие системы знания многократного использования для проектирования. Онтология дает словарь для моделирования структуры и поведения систем [20];
- 4) онтология включает в себя понятия (концепции) с определениями, иерархическую организацию понятий, отношения между понятиями (не только отношения вид–подвид и часть–целое), аксиомы, необходимые для того, чтобы формализовать определения и отношения [21].

Любопытно, что в Справочной книге по онтологиям [22] в качестве определения онтологии приводится все то же определение Т.Р. Грюбера: «онтология – это явная спецификация концептуализации».

Суммируем то, что разные авторы понимают под онтологией:

- 1) онтология – это инструмент для моделирования реальности;
- 2) онтология описывает определенную предметную область;



3) знание, представленное онтологией, должно быть intersubъективным (это означает, что все эксперты в данной предметной области должны признавать утверждения, представленные в онтологии этой предметной области);

4) онтология должна содержать глоссарий ключевых понятий и спецификацию их смысла;

5) таким образом, цель онтологии – описывать общие свойства предметной области, не зависящие от ее конкретных реализаций.

Далее будем называть приведенные выше пункты (1–5) *требованиями к определению онтологии*. Наша дальнейшая цель – ввести определение онтологии предметной области, удовлетворяющее этим требованиям.

Сначала мы рассмотрим онтологию как инструмент для моделирования реальности. Мы имеем некоторую предметную область, и наша цель состоит в том, чтобы получить ее формальную модель (рис. 1).

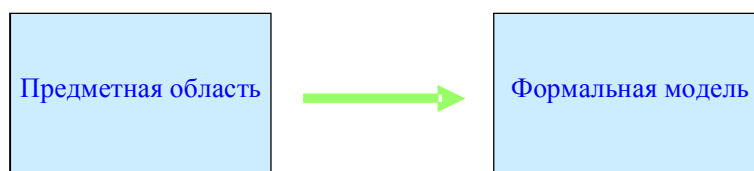


Рис. 1

В различных задачах инженерии знаний часто возникает ситуация, когда предметная область представлена текстами естественного языка. Такая ситуация часто встречается в бизнес-анализе, при организации поиска информации, извлечении знаний из Интернета, определении точного смысла предложений, описании контекста и т. д. Сначала мы имеем текст естественного языка, описывающий данную предметную область. На основе этого текста мы получаем теорию предметной области. Согласно теории предметной области, мы строим модель данной предметной области (рис. 2).

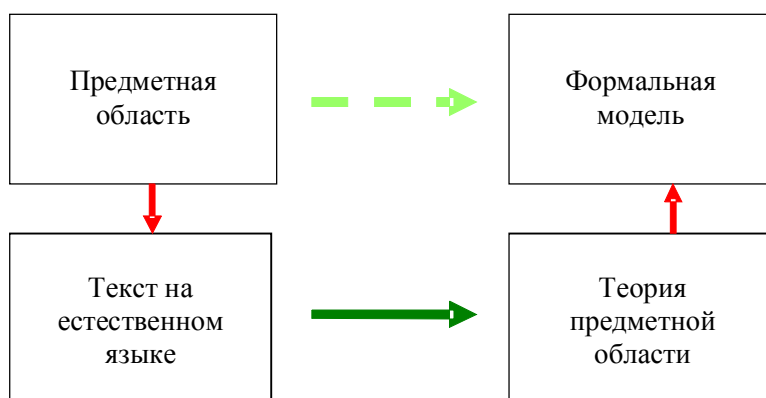


Рис. 2

Для того чтобы получить определение онтологии, удовлетворяющее пунктам (1–5), рассмотрим логический подход к построению эмпирической теории [23].

Необходимо выделить следующие стадии построения эмпирической теории:

- I) задание множества эмпирических и теоретических терминов (т.е. ключевых понятий);
- II) формирование определений терминов (ключевые понятия);
- III) определение эмпирических утверждений.

После первой стадии мы имеем логическую теорию, после второй стадии возникает аналитическая теория, и после последней стадии мы получаем эмпирическую теорию.

Для того чтобы описывать теории, которые возникают на каждой стадии, мы применим подход Р. Карнапа к описанию типов истинности предложений [24]. Карнап пересмотрел понятие аналитических суждений, введенное И.Кантом, и выделил три типа предложений, или, другими словами, три типа истинности.

Первый тип истинности – логическая истинность. Мы говорим, что утверждение логически истинно, если значение истинности этого утверждения зависит только от его логической формы. Примером логически истинного утверждения может служить следующее предложение: «Марсиане являются фиолетовыми или марсиане не являются фиолетовыми». Мы не нуждаемся ни в какой информации о марсианах, чтобы сказать, что это предложение верно. Предложения  $(\varphi \vee \neg \varphi)$ ,  $\neg(\varphi \vee \neg \varphi)$ ,  $(\varphi \rightarrow \varphi)$ ,  $(\varphi \leftrightarrow \neg \neg \varphi)$  также являются примерами логически истинных предложений.

Второй тип истинности предложений – аналитическая истинность. Будем говорить, что предложение является аналитически истинным, если его значение истинности зависит только от значения понятий, содержащихся в этом утверждении. Например, предложения «Собака – это животное» и «Сумма величин углов треугольника равна 180 градусам» являются аналитическими.

И последний, третий, тип истинности утверждений – синтетическая истинность. Предложение называют синтетически истинным, если значение истинности этого предложения определено некоторым состоянием реального мира. Например, предложение «Вес любой собаки меньше, чем одна тонна» является синтетически истинным.

Идея различать аналитические и синтетические утверждения принадлежит Канту. Карнап осуществил пересмотр этой идеи и дал точные определения.

Мы можем объяснить различие между аналитическими и синтетическими предложениями следующим способом. Предположим, что мы хотим понять, является ли некоторое утверждение синтетическим. Мы должны представить процедуру проверки этого утверждения, обращаясь к реальному миру. Если эта процедура осмысленна, тогда утверждение является синтетическим. В иных случаях оно будет аналитическим или логическим.

В качестве примера рассмотрим предложение «Собака – это животное». Вообразим, что мы обращаемся к реальному миру, чтобы проверить, истинно ли такое утверждение. В этом случае мы должны брать собаку за собакой и определять, является ли данная собака животным. Ясно, что эта процедура бессмысленна. Если в отношении некоторого объекта мы говорим, что это собака, тогда мы определенно говорим, что это также и животное, потому что последнее истинно по определению понятия «собака».

Точно так же мы не нуждаемся ни в какой информации о реальном мире, чтобы сказать, что утверждение «Сумма величин углов треугольника равна 180 градусам», является истинным. Истинность этого

утверждения следует из геометрических определений и аксиом (которые также можно рассматривать как своего рода определения).

С точки зрения построения эмпирической теории очень важно, что мы можем рассматривать аналитические предложения как явные или неявные определения терминов или множеств терминов.

Мы можем сравнить аналитические предложения с *заявлениями* [25]. Заявление – это специальный вид речевых действий. Цель заявления состоит в том, чтобы определить значение понятий, которые используются в коммуникации. Каждое определение – это заявление. Заявления ничего не сообщают о реальном мире, они только дают информацию об определениях терминов.

Понятие аналитического предложения является центральным в нашем определении онтологии.

Теперь возвратимся к стадиям построения эмпирической теории. Мы применяем эти идеи для разработки теории предметной области. С теоретико-модельной точки зрения этапы построения теории предметной области будут следующими:

- I) определение множества ключевых понятий – сигнатуры предметной области;
- II) определение глоссария (множества явных и неявных определений). Здесь мы получаем набор аналитических предложений;
- III) описание реальных фактов. Здесь возникает теория предметной области.

После первого этапа мы получаем сигнатуру данной предметной области. Таким образом, после этого этапа значения истинности определены только для логически истинных предложений (и для отрицания таких предложений). Мы получили *логическую теорию*, т.е. множество логически истинных предложений чистого исчисления предиката данной сигнатуры.

После второго этапа мы получаем точный смысл всех элементов сигнатуры. Эти смысловые значения формируются из определений сигнатурных символов. Естественно-языковая форма множества этих определений есть глоссарий предметной области. Обратим внимание, что все утверждения, содержащиеся в глоссарии, являются аналитическими (для данной предметной области). В рассматриваемой предметной области все предложения, представленные в глоссарии, истинны по определению.

И наконец, после третьего этапа мы получаем теорию данной предметной области. Это эмпирическая теория, она содержит синтетические эмпирические заявления.

Заметим, что предложение, которое является аналитическим в одной предметной области, может быть синтетическим в другой. Например, утверждение «Каждое поле есть кольцо» – аналитическое и аналитически истинное в математической предметной области. Однако в сельскохозяйственной предметной области это предложение является синтетическим, и оно ложно в данной предметной области в настоящее время.

Теперь возвратимся к требованиям, выдвигаемым к определению онтологии. Сосредоточим наше внимание на пункте (5): онтология должна описывать общие свойства предметной области, не зависящие от ее конкретной реализации. Онтология предметной области должна содержать информацию, которая является правильной для каждого конкретного случая данной предметной области. Этот тезис – центральный в нашем подходе к определению онтологии.

Возникает такая проблема: когда мы рассматриваем утверждение, связанное с онтологией, можем ли мы говорить, что это утверждение действительно истинно для любого примера онтологии? Решение этой проблемы может быть следующим: онтология должна содержать только аналитические предложения.

Фактически значение истинности аналитического предложения непосредственно вытекает из смысла понятий, встречающихся в этом предложении. С другой стороны, для любого синтетического утверждения мы можем представить себе ситуацию (конкретный пример предметной области), где это утверждение будет ложным. Даже если это утверждение истинно в каждой реализации предметной области в настоящее время, в будущем может появиться пример, в котором утверждение станет ложным. Так что мы можем быть полностью уверены, что предложение является истинным в любом примере данной предметной области, только если оно является аналитическим для этой предметной области.

Таким образом, онтология предметной области должна состоять из ключевых понятий предметной области и полного описания значений ключевых понятий. Теперь мы можем дать формальное определение онтологии предметной области.

**Определение 11.** *Формальной онтологией предметной области  $O$  называется пара  $\langle S, \sigma \rangle$ , где  $\sigma$  – множество ключевых понятий и  $S$  –*

множество аналитических предложений, описывающих смысл данных ключевых понятий.

Фактически множество  $\sigma$  – это сигнатура онтологии. Это означает, что  $\sigma$  содержит только символы понятий. Множество  $S$  включает в себя определения символов, содержащихся в  $\sigma$ .

**Определение 12.** Множество  $T$  предложений, которые являются верными в каждом примере предметной области, будем называть теорией предметной области  $O$ .

**Определение 13.** Пусть пара  $\langle S, \sigma \rangle$  является формальной онтологией предметной области  $O$ . Множество  $T_a = \{\varphi \mid S \mid \varphi\}$  будем называть аналитической теорией предметной области  $O$ .

**Определение 14.** Пусть  $T$  – теория предметной области  $O$ ,  $T_a$  является аналитической теорией  $O$  и  $S_e$  – множество предложений, такое, что  $T = T_a \vee S_e$ , то есть  $T = \{\varphi \mid T_a \cup S_e \mid \varphi\}$ . Тогда множество  $S_e$  назовем множеством эвристик данной предметной области  $O$ .

Множество эвристик  $S_e$  формализует специальное знание экспертов в данной предметной области. С помощью этого знания эксперты предметной области могут предложить различные рекомендации для реальной практики. Однако множество  $S_e$  содержит информацию, которая истинна сейчас, но может быть изменена в будущем. Поэтому, с нашей точки зрения, такое временное знание должно содержаться в теории предметной области и не должно быть включено в онтологию предметной области.

Заметим, что для формальной онтологии  $\langle S, \sigma \rangle$  множество  $S$  не обязательно должно быть теорией. Для ситуаций, когда лучше иметь дело с теорией как формой представления знания, введем следующее определение.

**Определение 15.** Дедуктивно замкнутая формальная онтология предметной области  $O$  есть пара  $\langle T_a, \sigma \rangle$ , где  $\sigma$  – множество ключевых понятий (символов ключевых понятий) и  $T_a$  – дедуктивно замкнутое множество аналитических предложений, описывающих значения ключевых

понятий. Для простоты пару  $\langle T_a, \sigma \rangle$  будем также называть замкнутой (дедуктивно замкнутой) формальной онтологией предметной области  $O$ .

В этом случае  $T_a$  является аналитической теорией предметной области  $O$ .

Заметим, что выполнено  $\sigma \subseteq \sigma(T_a)$  и не обязательно верно  $\sigma = \sigma(T_a)$ , где  $\sigma(T_a)$  – множество всех сигнатурных символов, встречающихся в  $T_a$ . Это означает, что теория  $T_a$  может содержать сигнатурные символы, которые не являются символами ключевых понятий предметной области  $O$ . Такое может произойти, когда при описании смысла сигнатурных символов (т.е. символов ключевых понятий) мы используем утверждения, содержащие понятия, которые сами не являются ключевыми понятиями.

В строгом смысле определение формальной онтологии  $\langle S, \sigma \rangle$ , так же как и определение дедуктивно замкнутой формальной онтологии  $\langle T_a, \sigma \rangle$ , является «полуформальным». Это означает следующее: чтобы понять, что данное предложение является аналитическим, мы должны обратиться к человеческому мнению. Эксперт предметной области должен определить, следует ли значение истинности данного предложения непосредственно из значений понятий, встречающихся в этом предложении.

Вернемся к стадиям построения эмпирической теории. С теоретико-модельной точки зрения моделирование предметной области и построение теории предметной области включают в себя следующие шаги:

I) выбор ключевых понятий предметной области дает нам теорию класса всех моделей рассматриваемой сигнатуры – множество тождественно истинных предложений. На этом шаге мы получаем тавтологическую теорию  $\text{Th}(\varphi)$  сигнатуры  $\sigma$  данной предметной области;

II) разработка глоссария ключевых понятий определяет теорию класса всех моделей, представляющих мыслимые (вообразимые) случаи данной предметной области. Эта теория является множеством аналитических предложений. На данном шаге мы получаем аналитическую теорию  $T_a$  предметной области, так же как и онтологию предметной области;

III) полное описание реального примера предметной области дает нам теорию предметной области (для этого примера). Полное описание всех реальных примеров предметной области дает нам теорию класса всех моделей рассматриваемой предметной области – множество синтетических предложений. На этом шаге мы заканчиваем моделирование

предметной области и начинаем строить теорию  $T$  предметной области или теорию данного экземпляра предметной области.

Таким образом, различие между построением онтологии предметной области и построением теории предметной области состоит в числе шагов: после второго шага дедуктивно замкнутая формальная онтология  $\langle T_a, \sigma \rangle$  полностью построена. Однако мы нуждаемся в третьем шаге, для того чтобы закончить построение теории  $T$  предметной области.

Рассмотрим теперь следующую проблему: как описать все возможные модели данной предметной области. Для решения этой проблемы кроме моделей – алгебраических систем нам понадобится понятие интерпретации языка в реальном мире.

Мы будем использовать логическую реконструкцию эмпирических теорий, предложенную С.С. Гончаровым, Ю.Л. Ершовым и К.Ф. Самохваловым [26] на основе идей М. Пржелецкого [27]. В работе упомянутых российских авторов введено понятие возможного предмета теории.

**Определение 16.** Возможный предмет теории (фрагмент предметной области) – это пара  $(M, I)$ , где  $M$  – модель сигнатуры  $\sigma$ , включающей в себя все понятия данной предметной области, а  $I$  – это интерпретация языка (сигнатуры  $\sigma$ ) в реальном мире (рис. 3).

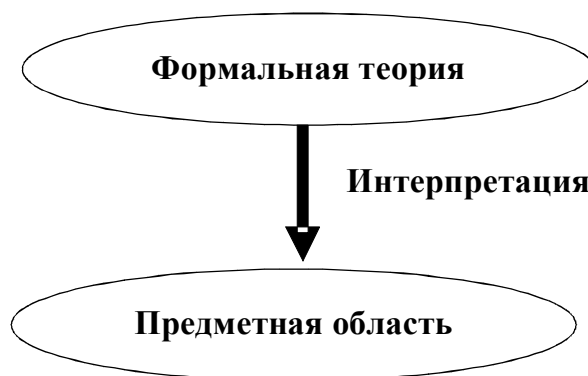


Рис. 3



**Определение 17.** Пусть  $\sigma$  – множество понятий предметной области. Будем говорить, что  $M \in K(\sigma)$  является моделью данной предметной области, если для некоторой интерпретации  $I$  сигнатуры  $\sigma$  пара  $(M, I)$  является фрагментом предметной области.

**Вопрос.** Какие системы  $M \in K(\sigma)$  являются моделями данной предметной области?

**Гипотеза (тезис).** Модель  $M \in K(\sigma)$  является моделью данной предметной области тогда и только тогда, когда на ней истинны все аналитические предложения данной предметной области.

Таким образом, онтология – это аналитическая теория (или множество аксиом аналитической теории) предметной области.

## 6. Иерархии онтологий

Наконец остановимся на формализации систем онтологий различных предметных областей, представленных в виде иерархий онтологий (рис. 4).

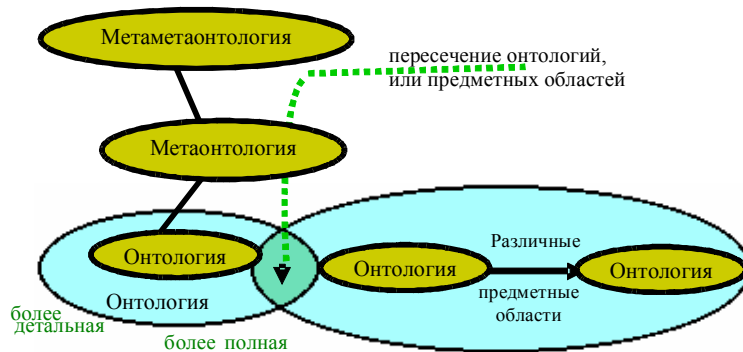


Рис. 4

**Определение 18.** Иерархией онтологий мы называем упорядоченное множество  $\langle H, \subseteq \rangle$ , где  $H$  – это множество онтологий и частичный порядок  $\subseteq$  определен на  $H$  следующим образом: для любых двух пар  $\langle T_1, \sigma_1 \rangle, \langle T_2, \sigma_2 \rangle \in H$  выполнено  $\langle T_1, \sigma_1 \rangle \subseteq \langle T_2, \sigma_2 \rangle$ , если  $T_1 \subseteq T_2$  и  $\sigma_1 \subseteq \sigma_2$ .

**Определение 19.** Пусть  $\langle T_1, \sigma_1 \rangle \subseteq \langle T_2, \sigma_2 \rangle$ . Если  $T_1 \neq T_2 \cap S(\sigma(T_1))$ , то онтология  $\langle T_2, \sigma_2 \rangle$  называется *более полной*, чем онтология  $\langle T_1, \sigma_1 \rangle$ . Если  $\sigma_1 \neq \sigma_2$  то онтология  $\langle T_2, \sigma_2 \rangle$  называется *более детальной*, чем онтология  $\langle T_1, \sigma_1 \rangle$ . Пусть предметная область  $O_1$  содержит  $O_2$ ,  $\langle T_1, \sigma_1 \rangle$  и  $\langle T_2, \sigma_2 \rangle$  онтологии областей  $O_1$  и  $O_2$  соответственно,  $\langle T_2, \sigma_2 \rangle \subseteq \langle T_1, \sigma_1 \rangle$ . Если  $\sigma_1$  содержит понятия, не являющиеся ключевыми понятиями предметной области  $O_2$  то говорим, что  $\langle T_1, \sigma_1 \rangle$  *более широка*, чем  $\langle T_2, \sigma_2 \rangle$ .

### Заключение

Мы рассмотрели теоретико-модельный подход к формализации психологических процессов, являющихся основой интеллектуальной, познавательной и творческой деятельности человека. Такая формализация необходима для точной постановки вопроса о том, может ли компьютер мыслить, и для ответа на этот вопрос. Более точно его следует сформулировать так: возможна ли реализация познавательных и творческих процессов при помощи программных систем? Ответ на этот вопрос актуален для решения задач автоматического порождения математических теорем, генерации новых знаний по имеющимся данным, принятия интеллектуальных решений, а также для множества других приложений.

В первой части работы мы ввели формальные определения для понятий потока восприятия, уровня осознания ситуации, потока сознания. Предложен подход к формализации образного мышления, памяти и рефлексии. Цель дальнейшего исследования – точное формальное определение указанных психологических процессов. Это даст возможность исследовать и моделировать спонтанную познавательную деятельность человека, весь спектр различных когнитивных процессов и, как результат, моделировать творчество.

Автор выражает признательность участникам семинара под руководством Ю.Л.Ершова и В.В.Целищева за интересные и глубокие обсуждения, которые побудили к данным исследованиям.

### Примечания

1. См.: *Hasher L, RT. Zacks* Automatic and effortful process in memory // *J. Exp. Psychol.* – V. 108 – 1979; *Tzelgov J.* Automatic but conscious: that is how we act most of the time. // *Advances in social cognition* / Ed. by R. Wyer. – Vol. X. – 1997.
2. См.: *Симонов П.В.* Эмоциональный мозг. – М.: Наука, 1981.
3. См.: *Аллахвердов В.М.* Сознание как парадокс. – М.: ДНК, 2000.
4. См.: *Леонтьев В.О.* Психологические аспекты концепций сознания. – *Neuroscience*, 2005. – [http://www.neuroscience.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=314&Itemid=25](http://www.neuroscience.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=314&Itemid=25).
5. См.: *Horst L., Van der.* Uber die Psychologie des Korsakowsyndroms // *Monatsschr. Psychiatr. Neurol.* – V. 83. – 1932; *Tassi P, Muzet A.* Defining the states of consciousness // *Neurosci. Biobehav. Rev.* – V. 25. – 2001.
6. См.: *Edelman D.B., B.J. Baars, A.K. Seth.* Identifying hallmarks of consciousness in non-mammalian species // *Consciousness and Cognition.* – V. 14(1). – 2005.
7. См.: *Ершов Ю.Л., Палютин Е.А.* Математическая логика. – Москва: Наука, 1979.
8. См.: *Кейслер Г., Чэн Ч.Ч.* Теория моделей. – Москва: Мир, 1977.
9. См.: *Barwise, J., J. Perry.* Situations and Attitudes. – Cambridge, MA and London, MIT Press, 1983.
10. См.: *Usnadse, D. von.* Die metaphysische Weltanschauung Wladimir Solowiows, mit orientierendem Iberblick seiner Erkenntnistheorie. – Halle/Saale, 1909.
11. См.: *Edelman D.B, B.J. Baars, A.K. Seth.* Identifying hallmarks of consciousness in non-mammalian species // *Consciousness and Cognition.* – V. 14(1). – 2005; *Kahn D., E.F. Pace-Schott, J.A. Hobson.* Consciousness in waking and dreaming: the roles of neuronal oscillation and neuromodulation in determining similarities and differences // *Neuroscience.* – V. 78(1). – 1997.
12. См.: *Zelger J.* GABEK, a new method for qualitative evaluation of interviews and model construction with PC-support // *Enchanging human capacity to solve ecological and socio-economic problems.* – Мьнchen-Mering: Rainer Hampp Verlag, 1993; *он же.* Wissensorganisation durch sprachliche Gestaltbildung im qualitativen Verfahren GABEK // *GABEK. Verarbeitung und Darstellung von Wissen.* – Innsbruck-Wien: STUDIEN Verlag, 1999; *он же.* Zur Geschichte von GABEK // *GABEK II. Zur Qualitativen Forschung On Qualitative Research.* – Innsbruck-Wien-Munchen: STUDIENVerlag, 2000.
13. См.: *Pal'chunov D.E.* On a logical analysis of GABEK // *GABEK II. Zur Qualitativen Forschung On Qualitative Research.* – Innsbruck-Wien-Munchen: STUDIENVerlag, 2000.
14. См.: Ibid.
15. См., например: *Леонтьев В.О.* Психологические аспекты концепций сознания; *Edelman D.B, B.J. Baars, A.K. Seth.* Identifying hallmarks of consciousness in non-mammalian species; *Seth A.K., B.J. Baars, D.B. Edelman.* Criteria for consciousness in humans and other mammals // *Consciousness and Cognition.* – V. 14(1). – 2005.

16. См.: *Леонтьев В.О.* Психологические аспекты концепций сознания.

17. См., например: *Клецев А.С., Артемьева И.Л.* Математические модели онтологий предметных областей: Ч. 1-3. // Научно-техническая информация: Серия 2: Информационные процессы и системы. – №№ 2 – 4. – 2001; *Alberts L.K.* YMIR: an ontology for engineering design: doctoral dissertation. – University of Twente. – 1993; *Gangemi A., G. Steve, F. Giacomelli.* ONIONS: An ontological methodology for taxonomic knowledge integration // Proceedings of the Workshop on Ontological Engineering, ECAI96. – 1996; *Gangemi A., D.M. Pisanelli, G. Steve.* An overview on the ONIONS Project: applying ontologies to the integration of medical terminologies // Data & Knowledge Engineering. – Vol. 31, N 2. – 1999; *Gruber T.R.* A translation approach to portable ontologies // Knowledge Acquisition. – V. 5(2). – 1993; *Gruber T.R., G.R. Olsen.* An ontology for engineering mathematics // Fourth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Gustav Stresemann Institut, Bonn, Germany, Morgan Kaufmann. – 1994; *Gruber T.R.* Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing // International Journal of Human-Computer Studies. – Vol. 43, Issue 5-6, Nov./Dec. – 1995; *Guarino N.* Formal ontology and information systems // Proceedings of International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98), Trento, Italy. – Amsterdam, IOS Press, 1998; *Inaba A., R Mizoguchi.* Learning design palette: An ontology-aware authoring system for learning design // Proc. of International Conference on Computers in Education, (ICCE2004), Melbourne, Australia, Nov. 30-Dec. 3. – 2004; *Miller G.A.* WordNet: An on-line lexical database // International Journal of Lexicography. – Vol. 3. – No. 4. – 1990; *он же.* WordNet: A lexical database for English // Communications of the ACM 38. – No. 11. – 1994; *Mizoguchi R., M. Ikeda.* Towards ontology engineering // Proc. of The Joint 1997 Pacific Asian Conference on Expert systems / Singapore International Conference on Intelligent Systems. – 1997; *Mizoguchi R.* A step towards ontological engineering // Proc. of The 12th National Conference on AI of JSAI, June, 24-31 1998 (in Japanese, English translation in: <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/english/step-onteng.html>); *он же.* Ontological engineering: Foundation of the next generation knowledge processing // WI2001, LNAI2198. – Springer Verlag. – 2001; *Pal'chunov D.E.* Logical methods of ontology generation with the help of GABEK // IV International GABEK Symposium, Innsbruck. – 2002; *он же.* GABEK for Ontology Hierarchy Generation // V International GABEK Symposium, Innsbruck. – 2004; *Handbook on Ontologies.* – Berlin, Springer. – 2004; *Wielinga B.J., A.Th. Schreiber.* Reusable and sharable knowledge bases: A European perspective // Proceedings KB&KS'93, International Conference on Building and Sharing of Very Large-Scale Knowledge Bases'93, dec. 1-4, Tokyo, JIPDEC. – Tokyo, 1993; *Wielinga B., A.T. Schreiber, W. Jansweijer, A. Anjewierden, F. van Harmelen.* Framework and formalism for expressing ontologies (Version 1) // ESPRIT Project 8145 KACTUS, Free University of Amsterdam Deliverable, DO1b. – 1994.

18. См.: *Gruber T.R.* Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing.

19. См.: *Wielinga B., A.T. Schreiber, W. Jansweijer, A. Anjewierden, F. van Harmelen.* Framework and formalism for expressing ontologies (Version 1) // ESPRIT Project 8145 KACTUS, Free University of Amsterdam Deliverable, DO1b. – 1994.

20. См.: *Alberts L.K.* YMIR: an ontology for engineering design: doctoral dissertation. – University of Twente. – 1993; *Gruber T.R., G.R. Olsen.* An ontology for engineering mathematics.

21. См.: *Mizoguchi R.* A step towards ontological engineering // Proc. of The 12th National Conference on AI of JSAI, June, 24-31 1998 (in Japanese, English translation in: <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/english/step-onteng.html>)

22. См.: *Handbook on Ontologies.*

23. См.: *Гончаров С.С., Ершов Ю.Л., Самохвалов К.Ф.* Введение в логику и методологию науки. – Москва: Интерпракс, 1994.

24. См.: *Carnap R.* Meaning and Necessity. A Study in Semantics and Modal Logic. – Chicago, 1956; *он же.* Philosophical Foundations of Physics. – New York, London. – 1968.

25. См.: *Пальчунов Д.Е.* О логическом анализе естественного языка // Теория вычислений и языки спецификаций. Вып. 152: Вычислительные системы. – Новосибирск, 1995; *Pal'chunov D.E.* Algebraische Beschreibung der Bedeutung von ДуЯierungen der natЬlichen Sprache // GABEK. Verarbeitung und Darstellung von Wissen. – Innsbruck-Wien: STUDIENVerlag, 1999; *Searle J.R.* Speech acts: an essay in the philosophy of language. – Cambridge: University press, 1969.

26. См.: *Гончаров С.С., Ершов Ю.Л., Самохвалов К.Ф.* Введение в логику и методологию науки.

27. См.: *Przelecki M.* The logic of empirical theories. – London: Routledge and Kegan Paul, 1969.

Институт математики СО РАН,  
г. Новосибирск

#### ***Pal'chunov, D.E. Modelling of thinking and formalization of reflection***

The paper deals with the problem of computer modelling of human intellectual activity. This problem is closely concerned with the question whether it is possible to realize intellectual, cognitive and creative activity with the help of computer program systems. The approach to solving of this problem is offered which is based on analysis and theoretical-model formalization of the concepts of consciousness, presentation, image, reflection, abstract logical and concrete figurative thinking.