

УДК 681.513



О.Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, oleg.mikhal@gmail.com

ЭВОЛЮЦИОНИРОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ КАК АНАЛОГ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Эволюционирование мультиагентной системы, как инструмента усиления человеческого интеллекта, сопоставлено с этапностью развития индивидуального человеческого интеллекта. Факт установления соответствия интересен в плане прогнозирования развития конкретных мультиагентных приложений.

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ СИСТЕМА, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Введение

Концепция *мультиагентной системы* (МАС) доминирует в проблематике *искусственного интеллекта* (ИИ) в силу её *антропоморфности*: определённые программные и аппаратные сущности (*агенты*) наделяются свойствами (атрибутами поведения), подобными тем, которые присущи *человеческому интеллекту* (ЧИ) [1]. «Очеловечение» характера технических сущностей придаёт им обозримость, удобство обслуживания и модернизации, а также удобство в непосредственной работе с ними (штатной эксплуатации) на уровне ЧИ. Кроме того, в субъективном плане — появляется наглядность и предсказуемость. По существу, ЧИ проецируется на технические сущности и воспринимает своё собственное отражение в них, как ИИ. Сложность (обозримость) *агента*, как интеллектуальной сущности, которая приобретает очертания *усилителя человеческого интеллекта* (УЧИ) [2], — становится соизмеримой (сопоставимой) с соответствующими человеческими показателями. С другой стороны, индивидуальный ЧИ формируется согласно достаточно простой многоуровневой схеме, частично рассмотренной в [3, 4]. Представляет интерес изучение соответствия между эволюционированием систем ИИ (включающим становление, развитие и «размножение» (разрастание структуры) МАС) и динамикой формирования (развития) *индивидуального ЧИ*, то есть интеллекта, присущего конкретному человеку.

Цель настоящей работы — сопоставление (демонстрация преемственности) эволюционирования МАС, как УЧИ, в сравнении с этапностью становления (развития) индивидуального (личностного) ЧИ. Факт установления указанного соответствия, помимо общеметодологического значения, интересен в плане прогнозирования и прототипирования дальнейших шагов (выбора направлений) в развитии МАС в конкретных приложениях.

1. Об интеллекте

Везде, во все времена, практически в любой области человеческих знаний, разделение объектов и

явлений на классы, проведение «демаркационных линий» между отдельными классами, в том числе установление терминологии, происходит «начиная с середины», с последующим движением «внутрь» («в глубину») и «во вне» («в ширь»). История науки показывает, что обычно в любой области знаний рано или поздно оказывается, что принятая «классификация», «исходная система аксиом» или «терминологическая база» *безосновательна* при движении «в глубину» («к корням», «к истокам») или *не состоятельна* при развитии «в ширь» («к обобщениям», «к объединению со смежными областями», «к развитию на стыках наук»). Подобное имеет место и в связи с науками об интеллекте и человеческом сознании.

Термин *интеллект* первоначально появился для обозначения «разумности» человека. Позднее оказалось, что поведение животных часто оказывается так же «не лишено разумности». Так возник термин *интеллект животных*, в отличие от ЧИ. Появление средств *вычислительной техники* (ВТ) первоначально не было воспринято как формирование УЧИ [2]. То есть, ЧИ первоначально «не разглядел» в средствах ВТ своего собственного отражения, а увидел только *интеллектуальную сущность* и назвал её ИИ. Такова тенденция формирования понятия (этимологический план). В содержательном же отношении, то что обозначено словом *интеллект* (разумность), есть просто способность приспосабливаться к условиям внешнего мира — атрибут *живого* — определённая фаза развития жизни. Поэтому чёткой грани наличия-отсутствия *интеллекта* попросту не существует. Таким образом, термину *интеллект* присуща «определённая неопределённость», что может быть допустимо для абстрактных понятий или групповых явлений, но в целом — мало продуктивна. Приводимые далее концептуальные соображения относительно развития МАС и формирования уровней ЧИ предположительно могут служить методологическим каркасом для придания понятию *интеллекта* большей определённости (для формализации).

2. Эволюционирование мультиагентной системы

Ключевая особенность МАС – антропоморфность. Причина этого кроется в изначальном назначении *агента* – быть УЧИ [2]. Целесообразно, чтобы размер, сложность (обозримость) и структурная организация *агента*, как интеллектуального образования (сущности), были соизмеримы со средними человеческими показателями. Человек имеет определённые интеллектуальные и физические ограничения, сложившиеся в ходе биологической эволюции. Так, существенными интеллектуальными ограничениями человека являются принципиальная однозадачность (отсутствие долговременного полноценного бесстрессового распараллеливания внимания) и «магическое число» 7 ± 2 (число ячеек «оперативной памяти») [5]. Решение более сложных задач, выходящих за границы этих ограничений, реализуется задействованием социального аспекта (объединением интеллектуальных усилий нескольких человек), либо подключением УЧИ (в частности, средств ВТ). Антропоморфная система (объект, сущность) соответствует ограничениям, присущим человеку, не антропоморфная – превышает средние человеческие показатели.

Не антропоморфный *агент*, разумеется, может быть разработан, но для его создания, сопровождения и эксплуатации должны затрачиваться «сверхчеловеческие» усилия (ресурсы, коллективы разработчиков, группы сопровождения и др.) Антропоморфный *агент* (аппаратный или программный) – не предполагает «сверхчеловеческих» затрат: удобен в разработке и эксплуатации одним человеком. В особенности, принцип антропоморфности должен соблюдаться в «человеко-агентном» интерфейсе. Не антропоморфный интерфейс не может быть «дружественным».

Соблюдение принципа антропоморфности интерфейса приводит к иерархичности системы агентов. Рассмотрим динамику эволюционирования (поэтапного становления и развития) МАС, иллюстрируемую серией структурных схем рис. 1 (а–с).

Начальный этап (рис. 1, а) соответствует примитивному уровню взаимодействия человека (оператора) Ч с объектом O_1 (рис. 1, а). Индекс здесь и дальше – обозначает номер уровня в многоуровневой (иерархической) МАС. Стрелки обозначают направление потока информации ($Ч \leftarrow O_1$) или управляющее (физическое) воздействие ($Ч \rightarrow O_1$). По мере изучения объекта O_1 человеком, характер взаимодействия усложняется. Объект становится «более понятен человеку»: человек изобретает средства для лучшего наблюдения объекта, а также орудия труда для более удачного (точного) воздействия на объект.

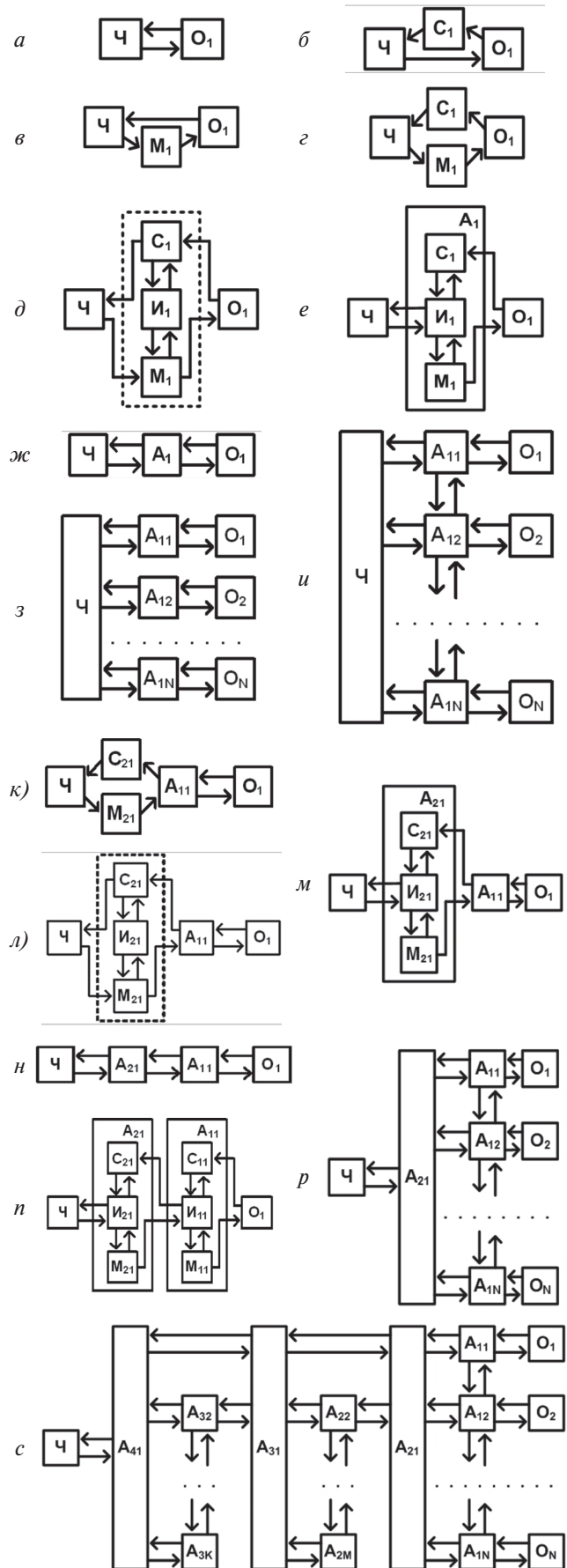


Рис. 1 (а–с). Динамика становления и развития агента, как функциональной и интеллектуальной сущности

Таким образом, Ч воспринимает информацию (рис. 1, б) или осуществляет воздействие (рис. 1 в) или и то и другое (рис. 1, з) – через промежуточное оборудование: сенсор C_1 и манипулятор M_1 . Сенсор, возможно, фильтрует, селективирует или преобразовывает информацию; манипулятор, возможно, усиливает, дозирует величину или более точно позиционирует воздействие на объект.

C_1 и M_1 развиваются и совершенствуются. Качественное изменение проявляется на последующем этапе, когда C_1 и M_1 достигают такого уровня сложности, что между ними устанавливается связь ($C_1 \rightleftharpoons M_1$): появление информационных потоков (показаны на рис. 1, д стрелками) и блока обработки информации – интерпретатора I_1 . В простом варианте функция I_1 – согласование форматов данных; в более развитом – преобразование информации, вплоть до выработки решений. Структура рис. 1, д является «*преагентной*»: объект O_1 наблюдается и обрабатывается человеком Ч, связка $C_1 \rightleftharpoons I_1 \rightleftharpoons M_1$ является вспомогательной конструкцией – «аватаром», управляемым Ч. «*Агентность*» (относительная автономность и самостоятельность в принятии решений) проявляется только при подключении Ч к I_1 (рис. 1, е). Взаимодействие $Ч \rightleftharpoons I_1$ сводится в конце концов к регулированию параметров автономно работающей интеллектуальной сущности (*агента*) A_1 .

Качественный характер перехода состояний «*преагентность*» (рис. 1, д) → «*агентность*» (рис. 1, е) состоит в том, что для Ч появляется возможно, работать не с единственным интеллектуальным *агентом* (рис. 1, ж), а параллельно с N *агентами*: $Ч \rightleftharpoons (A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1N})$ (рис. 1, з). Здесь первый индекс обозначает уровень *агента*, второй – его номер. Распараллеливание означает снижение рутинной управленческой нагрузки на ЧИ, преобладающее переключение ЧИ на функции регулирования, контроля и принятия «стратегических решений». В целом это соответствует идеологии УЧИ. Очередной шаг в этом направлении – интеграция *межагентских* связей $A_{11} \rightleftharpoons A_{12} \rightleftharpoons \dots \rightleftharpoons A_{1N}$ – иллюстрируется рис. 1, и. Координация действий однотипных *агентов*, выполняющих сходные функции, позволяет дополнительно разгрузить ЧИ, что равносильно наращиванию числа N активных *агентов*.

Дальнейшее наращивание МАС в направлении *многоуровневости* происходит в связи со следующими представлениями. В ситуации $Ч \rightleftharpoons A_1 \rightleftharpoons O_1$ (рис. 1, ж) человек с O_1 непосредственно не взаимодействует, хотя то, с чем Ч взаимодействует, для него оказывается также объектом. Поэтому в методологическом плане для Ч ситуация ($Ч \rightleftharpoons A_1$) не отличается от ($Ч \rightleftharpoons O_1$). Тогда, применяя

«эволюционный процесс», аналогичный описанному (рис. 1, а–е), получаем формирование блоков второго уровня: сенсора C_2 и манипулятора M_2 (рис. 1, к); затем включение между ними интерпретатора второго уровня I_2 (рис. 1, л); и наконец полномасштабное формирование агента второго уровня A_2 (рис. 1, м). Результат – получение иерархической системы $Ч \rightleftharpoons A_2 \rightleftharpoons A_1 \rightleftharpoons O$ с двухуровневой упорядоченностью агентов (рис. 1, н, и). При этом Ч ещё на один слой управления отдалается от реального физического объекта O_1 .

Очевидны последующие «ветви» эволюции: Одна из них – множественное «*агент-агентное*» управление. На рис. 1, р *агент* второго уровня управляет N *агентами* первого уровня: $Ч \rightleftharpoons A_2 \rightleftharpoons (A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1N})$. Другая «ветвь» эволюции – наращивании иерархии: $Ч \rightleftharpoons A_3 \rightleftharpoons A_2 \rightleftharpoons A_1 \rightleftharpoons O$ и т. д. При этом, «ветви» не мешают друг другу: на каждом из вновь возникающих иерархических уровней допустимо распараллеливание (множественное «*агент-агентное*» управление): $Ч \rightleftharpoons (A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2M})$, $Ч \rightleftharpoons (A_{31}, A_{32}, \dots, A_{3K})$, и т. д. Здесь M и K – число *агентов* второго и третьего уровней, соответственно.

В качестве иллюстрации, на рис. 1 с компактно представлено четыре уровня *агентов*. Первый, второй и третий уровни *многоагентные*; на четвёртом уровне имеется единственный *агент* A_{41} . К первому *агенту* 2-го уровня A_{21} подключено N *агентов* 1-го уровня; к первому *агенту* 3-го уровня A_{31} подключено M *агентов* 2-го уровня; к первому (единственному) *агенту* 4-го уровня A_{41} подключено K *агентов* 3-го уровня. Остальное «ветвление *агентур*» – условно не показано.

Представленная структура может быть дополнена внутриуровневыми и межуровневыми межагентскими связями (рис. 1 и, р, с). Последнее может рассматриваться как образование внутриуровневых и межуровневых «*интеллектуальных агентских сообществ*», о существовании и активности которых Ч (при надлежащем автономном саморазвитии *интеллектуальных агентов* и их сообществ) может даже и не знать. Внутриуровневые межагентские связи – в целом укладываются в общую иерархическую структуру системы. Межуровневые межагентские связи следует рассматривать как расширение (дополнение) иерархической структуры. Использование таких связей в системе, по-видимому, продуктивно, т. к. существенно наращивает многовариантность; но требует отдельного исследования, так как в силу той же многовариантности, они могут таить в себе опасности для системы.

В качестве действующего прототипа, следует указать человеческий мозг. Иерархические

представления об организации структуры его нейронных связей могут быть приписаны ему, по-видимому, лишь в некотором укрупнённом масштабе. Кроме того, сама идея иерархичности есть «человеческое изобретение», т.е. модель, предположительно описывающая реальность.

Характерно, что даже при столь простом (приведённом выше, рис. 1) структурировании процесса эволюционирования МАС, могут быть указаны перспективные направления («ветви») развития, а также направления, «выходящие из-под контроля» человека (межагентские неиерархические внутриуровневые и межуровневые связи) и потому содержащие потенциальные угрозы.

3. Индивидуальный человеческий интеллект

Формирования индивидуального ЧИ иллюстрирует схема табл. 1. *Уровень* (левый столбец) есть категория, в основном (преимущественно) коррелирующая с возрастом человека: временной срез индивидуального развития ЧИ. Разумеется, корреляция вовсе не означает (не гарантирует) неизбежного прохождения каждым человеком всех *уровней* в течение жизни. Нумерация *уровней* – инверсная (снизу – вверх), что отображает субъективное представление о росте, развитии в процессе жизни и продвижении «от нижнего *уровня* к верхнему».

Таблица 1

Уровневость формирования индивидуального человеческого интеллекта

	Уровень	Проявление	Сущность
6	духовность	харизма	бог
5	идентичность	миссия	супервизор
4	убежденность	цель	координатор
3	способность	поступок	личность
2	поведение	воздействие	индивид
1	рефлекторность	реакция	особь

Проявление и *сущность* (средний и правый столбцы табл. 1) – категории, определяющие «наличные возможности» и «потенциальный социально-обусловленный статус» человека, соответственно. Разумеется, «наличие возможности» вовсе не означает автоматической реализации *проявления*, присущего соответствующему *уровню*, а «статус» не предполагает неизбежную реализацию конкретного человека в соответствии с его *сущностью*. *Проявление* и *сущность*, как представляется, могут реализоваться только при стечении обстоятельств, или в случае возникновения соответствующей потребности.

Человек – существо социальное, поэтому на каждом *уровне* идёт определённая конкуренция, в соответствии с которой реализуются (или не реализуются) *проявление* и *сущность*.

Первый *уровень* – *рефлекторность* – соотносится с ранним периодом жизни: ориентировочно, первым годом после рождения. При рождении человек, судя по всему, уже наделён некоторым набором безусловных рефлексов. В первые месяцы после рождения у него интенсивно складываются и закрепляются *реакции* на новые внешние воздействия. Поскольку в это же время наращивается нейронная сеть головного мозга, вновь возникающая *рефлекторность* (комплекс условных рефлексов) обретает, буквально, «аппаратную реализацию». Содержательно, данный *уровень* характеризует чисто биологический план: *особь*.

Каждый последующий *уровень* представляет собой множественность образований информационных структур предыдущего *уровня*. Вторым *уровнем* – *поведение* – реализуется как структура наднаработанными комплексами условных рефлексов. Устанавливаются связи и соответствия между проявлениями *реакций* различных наработанных комплексов *рефлекторного уровня*. Проявлением *поведенческого уровня* является реагирование на внешние *воздействия* и формирование инициативных или ответных *воздействий* на объекты или процессы внешнего мира. Человек при этом проявляется как *индивид*. Его *поведенческий уровень* является строго индивидуальным, согласно *рефлекторному* комплексу, сформировавшемуся на предыдущем *уровне*.

Третий *уровень* – *способность* – формируется как совокупность структур *поведенческого уровня*. На этом *уровне* развития отрабатываются и сопоставляются различные реализованные *поведенческие* структуры (модели). Некоторые из моделей реализуются данным *индивидом* более эффективно. Их он предпочитает. Другие – менее эффективные модели – отвергаются или подлежат переработке. Предпочтение одних моделей поведения по сравнению с другими есть *поступок*, и является *проявлением способностей*. Человек при этом (на этом *уровне*) реализуется как *личность*.

Четвёртый *уровень* – *убежденность* – есть информационная структура, сформированная над комплексом *способностей*, как результат их развития и взаимосогласования. Проявлением *уровня убежденности* является целеполагание, включающее формирование *цели* или целей, поэтапное движение к *цели* и возможную корректировку *цели* по мере конкретизации пути к её достижению. *Цель* может быть личностной (внутренней, духовной), либо внешней, предполагающей межличностные взаимодействия. В обоих вариантах человек, находящийся в своём развитии на *уровне убежденности*, должен координировать свои внутренние усилия

в проявлении и дальнейшем совершенствовании своих *способностей*, либо соизмерять свои *поступки* с деятельностью (интеллектуальными проявлениями) других людей. Для обозначения реализации человека на этом уровне хорошо подходит термин *координатор*.

Пятый *уровень – идентичность* – является развитием, совершенствованием и взаимным согласованием проявлений четвертого *уровня*: способность различать в себе или окружающих разные варианты *целеполагания*, воспринимать наличие *убеждённостей*, отличных от текущей собственной. К моменту проявления *идентичности*, процесс целеполагания совершает уже столько итераций, что начинает доминировать социальная обусловленность (мотивированность, масштабность) *цели*. Возникает осознание незначительности индивидуальных личных целей в контексте социальной значимости. В реализации социально обусловленной *цели* человек не может ограничиться только личностным аспектом, что является уже *миссией*.

Механизмом (инструментом) реализации *идентичности* является умение смоделировать в себе *уровень* другого человека: взглянуть на проблему «его глазами», с учётом его *способностей* или *целей*, к которым он стремится. Проявлением *идентичности* является реализация своей *миссии*, для достижения чего человек может манипулировать другими людьми, формировать или корректировать (менять) их *цели*, способствовать реализации *целей* совпадающих с *миссией* и препятствовать реализации *целей*, противоречащих *миссии*. Для обозначения «рода деятельности» человека на этом *уровне*, с учётом проявляемой им социальной сущности, подходит термин *супервизор*.

Шестой *уровень – духовность* – означает существенно расширенный социальный аспект развития, возможно, с игнорированием личностных аспектов (или «всего земного») и приоритетным учётом глобальных интересов и потребностей больших групп людей вплоть до человечества (вида *Homo sapiens*) в целом. *Духовность* проявляется как развитая, обобщённая и усовершенствованная *идентичность*, возможность воспринимать множественность *идентичностей*. Люди этого *уровня* очень редки, поэтому проявления из деятельности вызывают большой интерес (резонанс), формируют вокруг них «толпы адептов и почитателей», что характеризуется как *харизматичность*. Уникальность (вплоть до феноменов, воспринимаемых на обыденном уровне как сверхъестественные) и малочисленность людей, находящихся на этом *уровне* развития, позволяют применить к ним

термин *бог* (разумеется, не в мифологическом или теологическом смысле).

По мере «продвижения по жизни», как отмечалось, люди не одинаково (не синхронно) переходят с *уровня* на *уровень*. Основная масса «взрослого человечества» не продвигается выше 3-го *уровня*; 4-го *уровня* достигает лишь несколько процентов; 5-го *уровня* лишь доли процента; а 6-го – буквально единицы. Легко видеть, что 2 - 3 *уровни* – это то, чему учат (воспитывают) в основном в средней школе; 3 - 4 *уровни* охватываются (с разной степенью успешности) высшими учебными заведениями; 4 - 5 *уровни* – последующее индивидуальное развитие (саморазвитие) и совершенствование; 6-й *уровень* – удел немногих.

Объяснение причин подобного «социального неравенства» выходит далеко за пределы нашего рассмотрения. Этапность (уровневость) формирования индивидуального ЧИ интересует нас исключительно в сопоставлении с этапностью в эволюционировании МАС. Это сопоставление позволяет видеть методологическую общность путей развития и предсказывать устойчивость тенденции к дальнейшему наращиванию числа иерархических уровней.

4. Обсуждение

1. Возможны ли *уровни* организации выше 6-го, представленного в таблице 1? По-видимому возможны, но на настоящий момент – не просматриваются. По-видимому, совершенствованное и духовное (интеллектуальное) развитие не должны иметь предела. По-видимому так же интеллект, превышающий человеческий, может иметь особенности (свойства, возможности, аспекты реализации), которые не мыслятся, не усматриваются и даже не подозреваются средствами ЧИ. Нельзя отрицать, что даже 6-й *уровень* – сам по себе – тоже просматривается довольно туманно. Фактически, *уровень духовности* реконструирован, как множественное проявление *уровня идентичности*; а для обозначения *проявления* и *сущности* применены «малонаучные» термины *харизма* и *бог* (последний – с рекомендацией понимать его в «литературно-художественном» смысле).

2. Допустимо ли («научно ли») применять в качестве терминов слова *харизма* и *бог*? В этом вопросе уместно следовать примеру классиков: Э. Резерфорд (1871 - 1937) применял в качестве термина слово *эманация*, изначально употребляемое в лексиконе магии и оккультизма и означающее истечение некой сущности из духовной сферы в материальную.

3. Действительно ли *уровней* именно 6, как показано в таблице 1? Все ли *уровни* в ней

представлены? Возможна ли структуризация с иным (большим) числом уровней? Разумеется, возможна. Первичным является содержательное обнаружение (констатация наличия) сущностей или явлений. Вслед за этим идёт терминология для обозначения этих сущностей или явлений. Появление термина – сигнал, *наличия* явления (реально или предположительно).

В рассматриваемом случае (таблица 1) – по существу, изучаются явления, связанные с человеческой психикой (психологией). Описания носят качественный (гуманитарный, «литературно-художественный») характер. Числовых характеристик нет. Есть только вербальные описания процессов и состояний. Следовательно, возможен другой понятийный аппарат, иная расстановка разграничений между состояниями (*уровнями*) и другое (но в небольших пределах) число *уровней*. В принципиальном плане это дела не меняет, поскольку, как известно [5], ЧИ способен устойчиво различать 7 ± 2 разных состояния. Таким образом, число уровней в таблице 1 соответствует человеческой способности к составлению репрезентативных моделей окружения.

4. Интересен такой феномен: личность в процессе её формирования (во времени) структурирована приблизительно так же, как и человеческое общество в каждом конкретном временном срезе: иерархически. Одно из возможных объяснений, как отмечалось, – иерархическая организация есть «изобретение человека» и достаточно простая модель для описания соответствующего класса явлений. По этой же причине МАС – так же «человеческое изобретение» – эволюционируют аналогично.

Выводы

Сопоставлены этапности становления и развития мультиагентной системы и индивидуального человеческого интеллекта на протяжении индивидуальной человеческой жизни. Совпадение иерархических структур процессов эволюционирования объяснимо с учётом того, что мультиагентная система является распределённым усилителем человеческого интеллекта. В методологическом плане изучение вскрытой закономерности перспективно в связи с вопросами прогнозирования направлений совершенствования мультиагентного подхода в разработке прикладных интеллектуальных систем.

Список литературы:

1. *Михаль О.Ф.* Эволюционирование мультиагентной системы как воспроизведение процесса формирования индивидуального человеческого интеллекта // Тезисы докладов 1-й Международной научно-технической конференции «Полиграфические, мультимедийные и web-технологии» (PMW-2016). Т. 1. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – с. 73-74.
2. *Михаль О.Ф.* Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники [Текст] / О.Ф. Михаль // Бионика интеллекта: научн. техн. журнал. – 2014. – 1 (82). – С. 55-62.
3. *Айман Найеф Ахмад Альхалайбех, Михаль О.Ф., Руденко О.Г.* Звено «техническая система – человек оператор» как модель информационного взаимодействия интеллектуальных подсистем с разной производительностью [Текст] / Айман Найеф Ахмад Альхалайбех, О.Ф. Михаль, О.Г. Руденко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2003. № 6(6). С. 1821.
4. *Дяченко В.А. Михаль О.Ф.* Интеллектуальный аспект обучения самоорганизующихся карт Кохонена [Текст] / В.А. Дяченко, О.Ф. Михаль // Бионика интеллекта: научн. техн. журнал. – 2015. – 2 (85). – С. 52-58.
5. *George A. Miller.* The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97. (<http://psychclassics.yorku.ca/Miller/>).

Поступила в редакцию 29.11.2016