

УДК 004.03

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ СЛОЖНОЙ ПРИРОДЫ

Долгополов И.Н.

dolgigo@ukr.net

Робота присвячена аналізу актуальних питань комунікативної взаємодії суб'єктів систем складної природи. Розглянуто основні принципи взаємодії на рівні фізіологічної регуляції на основі представлень мультиагентної парадигми, включаючи автопозіс та бутстрап, а також підходи до формалізації мови взаємодії та інтерпретації сенсу повідомлень на основі семіотичного підходу.

Ключові слова: фізіологічна регуляція, мультиагентна парадигма, автопозіс, семіозис.

The article is devoted to analysis of pressing questions of communicative cooperation of subjects of complex nature systems. There are considered basic principles of cooperation at the level of the physiological adjusting on the basis of presentations of multiagent paradigm, including autopoezis and bootstrap, and also approaches to cooperation language formalization of and messages sense interpretation based on the semiotic approach.

Keywords: physiological adjusting, multiagent paradigm, autopoezis, semiotic approach.

Работа посвящена анализу актуальных вопросов коммуникативного взаимодействия субъектов систем сложной природы. Рассмотрены принципы взаимодействия на уровне физиологической регуляции на основе представлений мультиагентной парадигмы, включая автопозіс и бутстрап, а также подходы к формализации языка взаимодействия и интерпретации смысла сообщений на основе семиотического подхода.

Ключевые слова: физиологическая регуляция, мультиагентная парадигма, автопозіс, семіозис

Введение

Согласно Technology Review, издаваемого Массачусетским Технологическим Институтом, среди 10 перспективных технологий, которые могут оказать наибольшее влияние на развитие цивилизации в ближайшие десятилетия, первое место занимает технология «сравнительного взаимодействия», с помощью которой реализуются коммуникативные акты субъектов «живых систем» (биосистем). Процесс коммуникации биосистем имеет сложную структурную иерархию, и социум является только одним из многих её уровней. Согласно сложившимся представлениям, функциональная иерархия биосистем включает три основных уровня: когнитивный – познание внешней среды; регуляторный – регуляция физиологической деятельности и психологии поведения; коммуникативный – обеспечение коммуникации и межличностного взаимодействия.

В данной работе анализируются некоторые актуальные вопросы коммуникативного взаимодействия субъектов систем сложной природы.

Рассматриваются принципы физиологической регуляции на основе представлений мультиагентной парадигмы, включая автопоэзис, бутстрап, а также подходы к формализации языка взаимодействия и интерпретации смысла сообщений на основе семиотического подхода, в рамках семиозиса.

Физиологическая регуляция организма

Наиболее значимым уровнем биосистем по количеству регуляторных реакций является уровень среды физиологической регуляции организма. Главным регулятором взаимопонимания, определяющим итог коммуникации в физиологической метасреде, выступает, так называемая, «общеорганизменная регуляторная химическая коммуникация» (ОРХК) [1]. Именно она в биосистемах обеспечивает процесс трансформация информационного сигнала в акты управления с адекватной реакцией в виде действия. Сигнальной основой ОРХК являются специфические биологически активные вещества, занимающие ключевые позиции в регуляции клеточного метаболизма на протяжении всего процесса эволюции. Например, процесс коммуникации в организме человека на молекулярно-биологическом уровне осуществляется посредством генетического кода, на внутриклеточном – сигнальными пептидами, на межклеточном – медиаторами, иммунными взаимодействиями, на внутриорганизменном – гормонами, условно-рефлекторными реакциями, на межорганизменном – посредством телергонов, феромонов и аттрактантов, не считая коммуникации на химическом уровне, а также с привлечением акустических и оптических каналов взаимодействия.

Необходимо отметить, что номенклатура этих веществ является общей для всех представителей биоты. Этим определяется универсальность феномена ОРХК в виде принципиального сходство механизмов регуляции функционирования живых систем любого уровня организации и сложности. Среди систем сложной природы человек относится к наиболее сложным из них, о чем свидетельствует тот факт, что один мм³ тела человека содержит более 100000 клеток, а в клетке проходит до $1,8 \times 10^{12}$ регуляторных реакций. Нейрофизиология оперирует ещё большим числом нейронов, около 10^{14} , а число возможных комбинаций их взаимодействия в несколько раз превышает время существования Вселенной.

Автопоэзис и бутстрап

Биологически активные вещества, поступая в физиологическую среду в процессе жизнедеятельности биосистем, выступают в роли записи «доски объявлений» (blackboard), считывание которой определяет выбор уровень метки, определяющей прагматику дальнейших действий. Например, клетка, исчерпавшая свой жизненный ресурс, выставляет на своей поверхности

«сигнальные молекулы-флажки» типа band-three со следующей альтернативой: либо метаболическая коррекция, либо апоптоз в результате утилизации. В случае отсутствия мероприятий, направленных на коррекцию данного состояния, специализированные антитела-контролеры по этим меткам находят предназначенные на утилизацию клетки и маркируют их. В дальнейшем маркированные аутоантителами клетки поглощаются миниатюрными «мусоросжигающими фабриками» – фагоцитами, внутри которых происходит разборка клеток помеченных, для утилизации, и сортировка их компонентов, большая часть из которых идет на повторное использование – в качестве сырья для производства новых биологических структур или для ферментативного «сжигания» в целях производства энергии, необходимой для создания новой клетки.

Связь посредством сообщений от среды относится к простейшим видам взаимодействия, описанным в моделях коллективного поведения автоматов [2]. Особенностью этих моделей, в которых механизм опосредованной коммуникации реализуется с помощью архитектуры в виде «доски объявлений», заключается в том, что среда будет определять поведение не только одного коммуниканта-регулятора, но и их отношения друг с другом, в нотациях сообщества: «над всеми, через всех, и во всех». Такое определение среды сближает его с определением понятия бутстрапа (bootstrap), в котором «всё обуславливается всем» и элементами которого являются взаимно-детерминирующие сущности [3]. Феномен активного распространения этого понятия связан не только с необходимостью смены картезианской парадигмы в науке, а в большей степени с ростом популярности холистической антиредукционистской познавательной модели, в рамках которой описывается поведение кибернетических систем сложной природы в медицине, биологии, физике и социологии на основе целостной объединяющей концепции.

Модель бутстрапа означает полную самосогласованность, взаимообусловленность частей и целого, что-то вроде «коллективной» формы элементарности. В виде рекуррентно/замыкаемых циклов $(n+1)$ бутстрап претендует на общий подход к анализу таких сложных явлений, как автопоэзис, в виде минималистской модели живого организма, теории самоорганизующейся критичности, биологической автономии, обобщенного метаболизма [4]. Фактически, автопоэзис – это сложный процесс, в основе которого лежит динамическая самоорганизация, позволяющая поддерживать автономию системы. С одной стороны, он выделяет её из среды в результате самоидентификации в процессе особого взаимодействия с ней в виде так называемого структурного сопряжения (coupling). А с другой – определяет её эволюцию в виде способности к обучению и адаптивным реакциям, которые в случае сохранения автопоэзисной организации носят сугубо взаимодополняющий характер, когда процесс А может быть использован при формировании процесса В, и в то же время В может быть использован при выполнении А. Близкие к автопоэзису идеи изложены в теоретической модели

самовосстанавливающегося метаболизма (Metabolism Repair Systems), феномен которого можно рассматривать, с одной стороны, как обмен веществом, энергией и информацией между системой и средой, а с другой – как обмен между отдельными компонентами самой системы. В настоящее время он относится к одному из наиболее парадоксальных явлений функционирования систем сложной природы. Необходимым условием стационарности и стабильности гомеостаза является не только открытость системы внешней среде, но и способность поддерживать непрерывную динамику своего состава вне зависимости от её воздействия. Материально-информационные потоки система пропускает для того, чтобы извлекать из них свободную энергию, необходимую для удержания своего состояния в узком интервале физико-химических параметров (температурных, электромагнитных, химических), которые являются кодом и условием самовосстановления.

Однако большинство авторов упускает из виду тот факт, что самовосстанавливающийся метаболизм – это не просто извлечение биосистемой отдельных ингредиентов среды: вещества, энергии и информации, а и их трансформация с последующим возвращением в среду, определяя её дальнейшую динамику, внося в неё уровень порядка или хаос и разрушения. В соответствии с принципом Короленка-Кюри, адаптацию биосистемы как акт коллективного взаимодействия её компонентов можно рассматривать как сложный цикл, включающий не только перестройку системой собственной структуры под воздействием среды, но и ответное воздействие на параметры самой среды, “переформатирование” её под себя [5]. Как видим, процесс взаимодействия не ограничивается коммуникацией, он включает ещё и возмущающее действие в среде, которое носит сигнальный характер «blackboard». Однако рекурсивное взаимодействие биагентов в среде будет приводить к взаимному обучению (коэволюция) субъектов коммуникативного процесса. В случае, когда время взаимодействия больше некоего порога $t > v$, $t \in T$, появляется возможность согласования индивидуальных моделей поведения коммуникантов, коадаптации, конгруэнции и их сопряжения, без необходимости введения априорных универсальных единых смыслов, понятий и моделей.

Мультиагентная парадигма взаимодействия

Рассмотрим процесс взаимодействия в контексте нового статуса медицины как науки межагентной коммуникации, в рамках парадигмы мультиагентных систем (МАС), которые принадлежат к классу интеллектуальных систем, предназначенных не только для решения задач обработки информации распределенного типа, включая приём и передачу сообщений, но и определяющих прагматику их действий, что делает

функциональный базис MAC тождественным задачам клинической медицины [6].

Формально MAC можно представить в следующем виде

$$SCA = \langle W, E^{FS}, LT, R, P, S^{MAC}, A^F \rangle,$$

где W – множество коммуникантов, дальше по тексту биоагентов $\{1, \dots, n\}$; E^{FS} – физиологическая среда. При формальном рассмотрении биосистемы в целом, включая различные уровни абстракции: клетка – C , ткань – F , орган – O , объединение органов по функциональному признаку (функциональная система – FS), организм ORG выступает как метасреда G , где если $C \in F$, $F \in O$, $O \in FS$, $FS \in ORG$, то $C \in ORG$;

LT – множество субъектов E^{FS} инвариантно масштабу локальных мишеней ЛМ биосистемы как объектов регуляторного воздействия. В качестве ЛМ может выступать любая единица биосоциальной организации человека: клетка, ткань орган, система, организм как биологическая единица и личность как социально ориентированная единица, популяция локального социума и т.д.;

R – базовое множество отношений, регулирующих взаимодействие агентов между собой и с ЛМ, которое в соответствии со сложной иерархией живых систем разделяется на три типа; $R = R_1 \cup R_2 \cup R_3$, где R_1 – отношения по горизонтали ЛМ; R_2 – отношения, регулируемые уменьшением масштаба ЛМ («сверху вниз»); R_3 – отношения, регулируемые увеличением масштаба ЛМ («снизу вверх»);

P – множество возможных коммуникативных актов, образующих протокол коммуникации в MAC; S^{MAC} – множество состояний MAC; A^F – множество финитных функций агента, определяющих его действия с ЛМ инвариантно масштабу.

Особенностью процессов взаимодействия в человеке является не только сложная их иерархия на макро и микроуровнях, но и бинарная их природа: биологическая и социальная. Необходимо отметить, что при изменении уровня масштаба абстракции конвенциональность как основа взаимодействия социального уровня коммуникации теряет свою актуальность. На биологическом уровне взаимодействие переходит в коммуникацию только в том случае, если у субъектов этого процесса коды будут носить изоморфный характер.

Традиционно считается, что исходным пунктом коммуникации есть следующие условия: общая начальная точка акта коммуникации G , общность алфавита и словаря, тождество масштабов процессов приёма/передачи сообщений и их синхронизация по локально культурному уровню ($O^1(t^1) = O^2(t^2)$). Однако необходимо подчеркнуть, что язык создаётся не столько с помощью алфавита символов, сколько правилами создания, преобразования и взаимодействия неких кодов, определяемых формальной грамматикой, с

добавлением семиотической конструкции, которую можно определить следующей записью:

$$G = \langle V_t, V_n, P, S, S_{em} \rangle,$$

где V_t – терминальный словарь кодов, например слово как акустический код; V_n – нетерминальный словарь фраз; P – множество правил подстановки; S – начальная аксиома ($S \in V_n$), S_{em} – семиозис (сигнал, знак, образ, семантическое поле). Для формальной грамматики характерны следующие соотношения:

$$V = V_n \cup V_t \text{ – словарь}$$

$$V_n \cap V_t = \emptyset$$

$$P = \{ \alpha_1 \rightarrow \beta_1, \alpha_2 \rightarrow \beta_2, \dots, \alpha_m \rightarrow \beta_m \},$$

где $\alpha_i \in V^* - \{ \lambda \}$, или $\alpha_i \in V^+$, а $\beta_i \in V^*$. Здесь P – множество всех возможных последовательностей, которые можно построить с помощью итерационных процедур на основе данного словаря. Процесс создания языка начинается с аксиомы S , на основе которой дальше применяются правила подстановок.

Формально задачу коммуникации биоагентов с позиции семиотики можно выразить следующим образом. На основании обнаруженной совокупности кодов биоагентом O интерпретируется состояние q_0^1 биоагента O^1 или его ЛМ с последующей идентификацией класса состояния в виде диагноза D или их упорядоченного множества $d \in D$, определяющего схему и последовательность дальнейшего их взаимодействия с целью коррекции состояния биоагента O^1 . Под состоянием биоагента будем понимать множество характеризующих его кодов V_t , фиксированных на момент T и поддающихся наблюдению B , измерению A и последующей интерпретации Z на основе семиозиса, хранимых в распределённой среде H .

В рамках синтаксического подхода идентификацию состояния биоагента на основе интерпретации формирующихся фраз как основной компоненты технологии прагматики действий можно представить следующим образом: известна грамматика V , известно описание состояния объекта в терминах «фразы», например X . Такая постановка задачи позволяет определить принадлежность X к $L(V)$ для объектов с жёстко заданными правилами функционирования. Каждой грамматике можно привести в соответствие некое распознающее устройство в виде конечного автомата, который описывается с помощью пяти характеристик:

$$A_l = \{ Q, l, \delta, q_0, q_f \},$$

где Q – конечное множество фраз определяющих состояние биоагентов; l – множество добавляемых кодов признаков; δ – семиотическая конструкция интерпретации фраз, определяющих состояния Q_l ; q_0 – начальное состояние ($q_0 \in Q$), q_f – множество финитных состояний [7]. Несмотря на то, что биоагент как детерминированный конечный автомат может применяться в разных задачах

диагностического цикла, результатом может быть только одно, достоверное решение. Например, в задачах постановки диагноза q_0 описывается неким множеством исходно выявленных признаков, входное воздействие i_k представляет собой недостающий признак x_{jj} для постановки диагноза D_j , q_1 – выставаемый диагноз D_j как единственный класс состояний. Согласно этой схеме, любое вносимое биоагентом воздействие должно приводить состояние управляемого объекта к единственному исходу улучшенного состояния. Такой универсальный взгляд позволяет представить процесс коррекции состояния в следующем виде:

$$g(q_i, i_k) = \{q_1\}.$$

При этом автомат исполняет функцию триггера, меняя своё состояние не только в зависимости от внешних воздействий, но и в зависимости от состояния, в котором автомат принимает это воздействие. Автомат, запоминающий своё состояние после воздействия, называется автоматом с памятью. Если выход автомата без памяти зависит только от входа, то значение выхода автомата с памятью зависит не только от входа, но и от его состояния. Автомат с памятью, имеющий конечное число возможных состояний, называется конечным автоматом. Особенностью конечного автомата заключается в том, что с увеличением памяти растёт целесообразность поведения автомата в стационарных средах. Это означает, что вследствие взаимодействия большого числа не интеллектуальных автоматов, выступающих в качестве биоагентов, система способна приобрести интеллектуальное поведение в номинациях «коллективного интеллекта» (collective intelligence) или «интеллекта роя» (swarm intelligence) [8,9]. Подобный рой, состоящий из большого числа агентов, можно представить в виде некоего организма, взаимная адаптация и кооперация элементов которого на основе всеобщей обратной связи позволяет обеспечить устойчивость его гомеостаза.

Однако межличностное взаимодействие, в отличие от взаимодействия конечных автоматов, всегда будет социально опосредовано, и в силу культурных особенностей локального социума будет принимать неоднородный, не тождественный характер. Каждый индивидуум формируется в контексте окружающей его культурной среды, распределяя её влияние как на физиологию тела, так и на сознание. Различные контексты социокультурного окружения трансформируют человека, меняя его смыслы и уровень социального включения в соответствии с космосом сигналов окружающего мира.

Семиозис

Однако развитие теории коммуникативных процессов показало настоятельную потребность в расширении сложившегося понятия информации как сигнала, с переходом от технологий оценки её количества к категориям её

качества. Сигнал содержит информацию об отражаемом объекте на основе бинарного кода истина/ложь и безразличен к смысловой стороне содержащейся в нём информации, а для перевода в разряд сообщения его необходимо сначала осмыслить путём раскрытия заложенных в него когнитивных структур на основе знаков, которые изучает семиотика, основными операндами которой, являются сигнал, знак, образ, семантическое поле.

Среди основных средств системного анализа для описания взаимодействия субъектов биосистем семиотический подход занимает особое место. К настоящему времени в рамках семиотики объединили свой понятийный и методологический аппарат структурная лингвистика, логика, кибернетика, теория информации и коммуникации. Ключевое понятие семиотики – знаковый процесс или семиозис [10]. Семиозис определяется как некая ситуация, включающая определенный набор компонентов, например, намерение лица А (отправитель), передать лицу В (получателю или адресату) сообщение V. Лицо А выбирает среду G как канал связи, по которой будет передаваться сообщение, и код К. Код К должен быть выбран таким образом, чтобы соответствие означаемого и означающего задавалось определённым набором знаков, который может транслировать сообщение без потери его смысла. Для этого код должен быть известен получателю, а среда и означающие должны быть доступны его восприятию. Таким образом, воспринимая означающее, посланное отправителем, получатель с помощью кода К переводит знак в означаемое, в результате сообщение принимается и понимается: $(G(K(A \rightarrow B)V))$. Условием успешно завершённого процесса коммуникации являются определённые характеристики кода: 1) он должен предшествовать сообщению; 2) быть инвариантен для всех ситуаций, в которых он может быть использован, с высокой степенью вероятности; 3) быть независим от формы сообщения; 4) быть независим от передающей стороны; 5) сообщение не может быть носителем чего-либо нового или непредвиденного; 6) множество возможных сообщений на основе данного кода должно быть конечным. Обобщая перечисленные требования, можно утверждать, что сообщения может быть понято только тогда, когда его смысл уже накоплен в языке.

Однако в основе коммуникации этого уровня лежат конвенциональные соглашения, которые подразумевают тождество ментального опыта коммуникантов, который изначально отсутствует на биологическом уровне. Согласно современным представлениям о ментальном опыте, он рассматривается как некая психическая реальность, способная к детерминации не только свойства интеллектуальной деятельности, формируя личностные качества человека и различные аспекты его поведения на разных уровнях социального включения, но и физиологический статус во всём объёме регуляторных реакций.

В рамках дефиниций идеологии коммуникации успешное выполнение поставленной цели взаимодействия в большей степени зависит не столько от бортового интеллекта отправителя, инвариантно его природы и размерности, сколько от полноты семиотических моделей предметной области конкретной ЛМ в качестве адресанта. Целью их создания в семиотическом подходе есть стремление сделать доступным искусственным системам, в нашем случае, в номенклатуре МАС – биоагентам, «понимание» образов внешнего мира на основе знакового описания смысловых характеристик объектов управления. Рассмотрим семиозис в виде некоего функционала

$$S_m = F [W, V, X, Y, D, Z],$$

где V – знак как видимый образ состояния ЛМ; W – биоагент в качестве его интерпретатора, X – предметное значение кода, сигнала, знака (отражающее); Y – трактуемый образ состояния ЛМ (отражаемое); D – прагматическое значение знака, Z – контекст среды, в котором фигурирует данный знак. Здесь V предрасполагает W к определенным реакциям восприятия и понимания X , отображающего состояние Y , и к действиям D , направленным на коррекцию состояния, которые возможны при конкретных условиях среды Z [11].

Антропологическая семиотика основана на утверждении, что люди, сформированные и выросшие в однородном социуме, могут обмениваться сообщениями, которые в принципе могут быть расшифрованы другим человеком. Успех понимания зависит только от объёма передаваемой информации и сходства жизненного опыта. При взаимодействии различных языков вступают в действия основные кодовые правила, в основе которых лежит видовой, общечеловеческий опыт социальной практики. Например, при попытке проинтерпретировать знаки, принадлежащие уровню одного социума в системе другого или при изменении его масштаба, будет меняться код, а возможно и язык, что приводит к нарушению принципа системной конгруэнтности (соответствия, совместимости). Выходом из сложившейся ситуации стали исследования в рамках семиотического подхода основных операндов коммуникативного процесса, таких, как язык, речь и дискурс, которые дали новые возможности их анализа.

Язык, дискурс

Являясь прежде всего основным инструментом отражения человеком окружающей действительности и самого себя, язык, в силу бинарной природы, несёт на себе отпечаток двойственности. С одной стороны, он обеспечивает взаимодействие отправителя и получателя посредством передачи сообщения в виде какого-то знака, например слова. Эту функцию языка называют коммуникативной. С другой стороны, язык не просто передаёт в актах коммуникации некое сообщения, он передаёт содержащиеся в нём знания о фрагментах мира, играя важную роль в последующих процессах их накопления и хранения, а также упорядочения и систематизации, тем самым обеспечивая

процесс технологического преобразования с целью получением нового знания. В этом случае язык обеспечивает процедуры познавательного характера, и данную функцию называют когнитивной. Кроме этих известных функций, необходимо вспомнить ещё об одной – эпистемологической, которая связывает коды языка и окружающий мир. В качестве единиц языка выступают отображенные и обработанные сознанием человека элементы действительности, которые закрепляются в процессе социально опосредованной практики в качестве гносеологических образов. Затем они становятся элементами ментальных конструкций и могут быть использованы не только для номинации и хранения, но и технологической обработки в задачах обеспечения потребностей мыслительного процесса.

Однако необходимо добавить, что язык выступает ещё и в качестве механизма связывания мысли с языковыми формами, вследствие чего ментальные репрезентации приобретают вербальное воплощение фонологического характера. В результате любое высказывание можно рассматривать как многослойную структуру, состоящую из трёх слоёв: поверхностного, определяющий синтаксис и фонологию и глубинно-когнитивного, в котором представляется та мысль, которая выражается и понимается одинаково говорящим и слушающим, и промежуточным слоем, между ними — уровнем значений, представляющих языковую информацию. Поэтому в предложении в первую очередь рассматривается синтаксис и правильность грамматической конструкции, затем мысль, которая понимается и выражается как ментальная конструкция, и только в последнюю очередь его вербальная составляющая.

Заключение

В настоящее время описание мира на основе обширного словаря символов, представляющих в нем действия, события, объекты и др., стало возможным на основе использования методов символьного искусственного интеллекта, оперирующих гибридными элементами базовой логики [12]. Гибридный подход (Deep Symbolic Reinforcement Learning), сочетающий символы с поиском закономерностей в массивах получаемых данных с последующей их интерпретацией, находится на стадии концептуальных экспериментов, и остаётся надеется, что качественный скачок в технологиях ИИ станет ближайшей реальностью. Вопрос порождения смысла без внешней интервенции на основе самоорганизованной критичности крайне актуален для субъектно-объектных процессов взаимодействия. Решение подобных задач относится к фундаментальным характеристикам концептуальной новизны передовых компьютерных технологий и искусственных организаций, строящихся в рамках парадигмы синергетики.

Дальнейшие исследования в этой области, основанные на новых принципах взаимодействия субъектов живых систем инвариантно их природе, являются стратегическим путём развития методов комплексной диагностики и средств коррекции патологических состояний, различных болезней, формируя горизонты медицине будущего – наномедицины.

Список литературы

1. Кулаковский Э.Е. Информационная связь как основа взаимодействия организма со средой обитания. // Биомедицинский журнал. – 5. - С. 57-60. [www: Medline.ru](http://www.Medline.ru)
2. Варшавский В.И. Коллективное поведение автоматов. – М: Наука, 1973.
3. Казанский А. Б. Биосфера как автопоэтическая система: Биосферный бутстрап, биосферный иммунитет и человеческое общество // Экогеософский альманах. – 2003. – № 3. – С. 5-50.
4. Матурана У, Варела Ф. Древо познания. – М.: Прогресс-Традиция, 2001. – 224 с.
5. Шевцов В.Ю. Проблеми космічної фізики. – 2012. // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.unaec.dp.ua/_files/doc/krok12.pdf
6. Долгополов И.Н. Особенность применения формальных подходов к моделированию действия лекарственных комплексов. // Зб. Індуктивне моделювання складних систем. – К.: МННЦ ІТС НАНУ, 2010. – С. 50-59.
7. Долгополов И.Н. Особенности применения формальных методов управления в клинической медицине // Зб. Праць Міжнародного семінару з індуктивного моделювання. – К.: МННЦ ІТС НАНУ, 2005. - С. 129-133.
8. Vonabeau F, Theraulaz G. (Eds.) Intelligence collective. – Paris.: Hermes, 1994.
9. Адамацкий А.И., Холланд О. Роящийся интеллект: представления и алгоритмы // Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – №1. – С. 45 - 53.
10. Долгополов И.Н. Моделирование многофакторного лечебного воздействия на биосистему // Кибернетика и системный анализ. - 2012. - №5. - С.25-41.
11. Долгополов И.Н. Процесс коммуникации в клинической диагностике. Семиотический подход // Кибернетика и системный анализ. - 2009. - №5. - С. 60-70.
12. Ручкин В.Н. Когнитология и искусственный интеллект / В.Н. Ручкин, В.А. Романчук, В.А. Фулин. - Рязань.: ИНТЕРМЕТА, 2012. – 260 с.