

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК РАН
ИНСТИТУТ ФИЛОСОФИИ РАН
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ.В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РАН
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО МЕТОДОЛОГИИ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА**

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**СБОРНИК ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ
VIII Всероссийской конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых**

**20–22 ноября 2014 г.
МГТУ МИРЭА**

**Москва
2014**

УДК 100.32
ББК 32.813
И 86

Редакционная коллегия:

А.С. Сигов (*председатель*), **В.А. Глазунов**,
Д.И. Дубровский, **В.Г. Редько**, **Е.А. Никитина** (*отв. редактор*).

И 86 Искусственный интеллект: междисциплинарные исследования. Сборник пленарных докладов VIII Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Москва, МГТУ МИРЭА, 20–22 ноября 2014 г. Под ред. д. филос. н. Е.А. Никитиной.— М.: Радио и связь, 2014. — 76 с.

В сборнике пленарных докладов VIII Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Искусственный интеллект: философия, методология, инновации» рассматриваются вопросы взаимодействия эпистемологии и когнитивной науки в междисциплинарных исследованиях познания; обсуждаются различные подходы к моделированию познавательных способностей человека и моделированию интеллекта; исследуется управление в распределённых интеллектуальных системах; выдвигается гипотеза о всеобщем характере аутопоэтической самоорганизации человекомерных систем.

**Издание осуществлено при финансовой поддержке
РГНФ. Проект №14-03-14053.**

ISBN 978-5-94101-292-3

© МГТУ МИРЭА, 2014
© Авторы, 2014

УДК: 165.12

**ЭПИСТЕМОЛОГИЯ И КОГНИТИВНАЯ НАУКА:
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Лекторский В. А.

*Институт философии РАН, Москва, Россия
E-mail: lektorski@ultranet.ru*

Кудж С. А.

*Московский государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия.
E-mail: mirearec1@yandex.ru*

Никитина Е. А.

*Московский государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия
E-mail: nikitina@mirea.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются основные подходы к исследованию интеллектуальных процессов в эпистемологии и когнитивной науке, отмечается междисциплинарный характер данных исследований. Анализируются тенденции роста разнообразия направлений современной эпистемологии и конвергентное развитие НБИКС-технологий (нанотехнологий, биотехнологий, информационных, когнитивных и социальных технологий). Информационный подход рассматривается в качестве методологической основы НБИКС-конвергенции.

Ключевые слова: познание; знание; информация; эпистемология, когнитивная наука, информационный подход, искусственный интеллект, междисциплинарные исследования.

**EPISTEMOLOGY AND COGNITIVE SCIENCE:
INTERDISCIPLINARY RESEARCH OF INTELLECTUAL PROCESSES**

Lektorskiy V. A.

Institute of Philosophy RAS

Kudzh S.A.

*Moscow State Technical University of Radioengineering,
Electronics and Automation , Moscow, Russia
E-mail: mirearec1@yandex.ru*

Nikitina E.A.

*Moscow State Technical University of Radioengineering, Electronics
and Automation
E-mail: nikitina@mirea.ru*

Abstract. The article analyses issues of modern epistemology that emerged under influence of differentiation and integration of the scientific knowledge. Article tackles such aspects as growth of multi-directional character of modern epistemology, formation of inter-disciplinary studies of cognition in natural sciences, convergence of NBIC technologies (nano-, bio-, information-, cognitive technologies). Information approach is analyzed as a methodological foundation for integration of knowledge in process of NBIC-convergence.

Key words: cognition; knowledge; information; epistemology; cognitive science informational approach artificial intelligence; interdisciplinary studies.

Вступление передовых стран в общество знания, развитие конвергентных технологий (нанотехнологий, биотехнологий, информационных и когнитивных технологий) придают проблематике познания, знания и информации, связанной с судьбами общества, культуры и человека, острый характер. [1, 2]

Эпистемология как философская дисциплина, исследующая познание, знание, играет особую роль в культуре формирующегося общества знаний. В настоящее время эпистемология вступает в новую фазу своего развития, обновляются понимание и формулировки ряда эпистемологических проблем [3, 4], наблюдается рост разнообразия методологических подходов и концепций. Спектр методологических подходов к исследованию познания в эпистемологии, в целом, достаточно широк: эволюционный, конструктивистский, феноменологический, аналитический, структуралистский, экзистенциально-антропологический, коммуникативный, информационный, вычислительный, кибернетический и другие подходы. При этом некоторые подходы, такие, в частности, как информационный подход, применяются в различных направлениях эпистемологии, что способствует интеграции эпистемологического знания [5, 7].

На основе методологических подходов формируются специализированные прикладные эпистемологии: эволюционная эпистемология, социальная эпистемология, информационная эпистемология, компьютерная эпистемология, конструктивистская эпистемология, кибернетическая эпистемология и т.д. Представления о познании в данных эпистемологиях формируются под влиянием определенных частнонаучных парадигм, включающих теории, на основе которых осуществляется системное описание и объяснение функционирования объектов, относящихся к той или иной научной области. Следует отметить, что степень зрелости специализированных эпистемологий различна: одни содержат весьма развитую рефлексивную составляющую в отношении собственной методологии, понятийного аппарата, эмпирического базиса, в то время как представители других продолжают дискуссии о собственных теоретико-познавательных и методологических основаниях [5].

Важная функция специализированных эпистемологий состоит в том, что посредством данных эпистемологий в контекст эпистемологического знания включаются и интерпретируются результаты экспериментальных исследований познания и объектно-формируемый спектр эпистемологических проблем. Непосредственное, без методологической интерпретации, включение экспериментальных данных в философский дискурс не всегда возможно в условиях возросшей сложности современной науки и технологии и некорректно, так как всякий факт теоретически нагружен [5]

Помимо процессов дифференциации, которые нередко становятся предметом острых философских дискуссий о кризисе классической теории познания, релятивизме, новых основаниях объединения наук и т.д. [6], в основных направлениях эпистемологии — натуралистическом, гуманитарном, социальном, информационно-технологическом [3, 5] — происходят также интегративные процессы. В целом в науках, изучающих познание, наблюдается тенденция формирования междисциплинарных комплексов научных дисциплин, исследующих познание.

Наиболее зрелым междисциплинарным комплексом наук, объединенных исследованием познания, является когнитивная наука, которая объединила когнитивную психологию, когнитивную лингвистику, исследования в области искусственного интеллекта. [6, 8] Конституирование когнитивной науки сопровождалось формированием научного сообщества, изданием научных журналов, созданием лабораторий, организацией конференций по проблематике когнитивной науки. [6, 8, 10]

Методологической платформой, объединившей на начальных этапах такие направления научных исследований как искусственный

интеллект, когнитивная психология, компьютерная лингвистика в когнитивную науку, сформировавшуюся в 70-е гг. XX в. в США, стал вычислительный подход, на основе которого осмысливались и моделировались мышление и познание; аппаратно-техническая реализация, по сути, являлась своеобразной опытной проверкой гипотез [5, 8, 9]. Нацеленная на применение строгих, точных научных методов к исследованию познавательных процессов, когнитивная наука строилась по образу и подобию естественных наук, на основе гипотетико-дедуктивной модели, обеспечивающей возможность экспериментальной проверки гипотез о познании.

Но постепенно внутренняя логика развития когнитивной науки привела к включению в нее нейронаук. А по мере эволюции методологической платформы когнитивной науки стало очевидным, что в специальных научных исследованиях познания не удастся избежать обсуждения вопросов, традиционно относящихся к философской теории познания, например, вопросов о соотношении активности нейронов и психических процессов, об активности субъекта познания, природе человеческого понимания и др. [5, 8, 9] Соответственно, в когнитивную науку стали включаться философские исследования, дающие теоретическое понимание проблем познания и сознания, прежде всего — работы Д. Деннета, Д. Серля, Д. Чалмерса, М. Боден. Таким образом, в сферу ИИ, помимо логики, стали вовлекаться философия сознания, философская антропология, герменевтика [5, 8, 9]

В России оформление когнитивной науки как «области междисциплинарных исследований познавательных процессов, функционирования мозга и регуляции поведения у человека и животных» происходит в начале первого десятилетия XXI в. [6, 10] К когнитивной науке относят «разделы психологии (когнитивная психология), информатики (в особенности такие ее разделы, как искусственный интеллект, компьютерное зрение и нейронные сети), лингвистики, философии, нейрофизиологии, антропологии, а также в растущей степени экономики, юриспруденции, педагогики и эргономики» [6, 10].

В научном сообществе нет единого мнения по поводу того, существует ли одна когнитивная наука (включающая в себя комплекс дисциплин, объединенных вокруг общей методологической платформы) или комплекс когнитивных наук (гуманитарных, естественных, социальных, компьютерных и т.д.), изучающих познание человека.

Методология когнитивной науки в настоящее время эволюционирует, как представляется, в направлении интегративного понимания человека; моделирование интеллекта ориентировано на учет деятельности природы человека и социокультурных контекстов ин-

теллектуальной деятельности, что способствует более широкому включению в когнитивную науку философских дисциплин [5, 6].

Взаимодействие эпистемологии с естественнонаучным, техническим знанием реализуется в конвергентных технологиях (нано-, био-, инфо-, когнитивных). НБИК-конвергенция (конвергенция нанотехнологий с биомедицинскими технологиями, информационными технологиями и когнитивной наукой) как концепция была выдвинута в 2001 г. под эгидой Национального научного фонда США. Авторы НБИК-концепции, М. Роко и В. Бэйнбридж, полагают, что все названные технологии, т.е. сложившиеся практики познания, изобретения и конструирования эволюционно соединены в проектно-конструктивной человеческой деятельности и, в перспективе, существенно изменят экономику, управление, самого человека, и, в целом, облик цивилизации и культуры.

Целесообразно включение в НБИК-технологии социогуманитарной составляющей, так как приобрели актуальность проблемы социального прогнозирования, системного управления и контроля, критериев оценки вероятных и уже достигнутых результатов, методов эффективной экспертизы, юридические и этические проблемы. Вместо НБИК все чаще употребляется аббревиатура НБИКС (нано-, био-, инфо-, когнитивные и социальные технологии) свидетельствующая об институционализации социогуманитарного знания в системе конвергентного развития технологий. Конвергентное развитие НБИКС-технологий представляет собой новый этап интеграции научного знания, на котором формируются принципиально новые объекты познания и деятельности, включающие физические, химические, биологические, психологические, технические, социальные составляющие [11].

Интенсивное развитие конвергентных технологий заставляет по-новому увидеть «вечные» философские проблемы, побуждает философов науки и техники к активному диалогу, взаимодействию и объединению с учеными-специалистами для осмысления философских проблем, возникающих в научно-технологической сфере. Соответственно, перед эпистемологией и методологией науки возникают новые задачи, касающиеся разработки концептуальных средств интеграции, и, прежде всего, общего языка, понятного всем исследователям, участвующим в развитии конвергентных технологий. Данная проблема является междисциплинарной, но у нее есть и аспект, связанный с обеспечением эффективной коммуникации с обществом.

Информационные технологии, а затем и конвергентное развитие нанотехнологий, биотехнологий, информационных и когнитивных технологий меняют окружающую среду, социум и человека, пре-

образуют жизненный мир человека, который насыщается научно-техническими достижениями («умный дом», «интернет вещей», «обогащенная, дополненная реальность» и т.п.). [12] Под влиянием техники формируется активная инфо- и техно-среда повседневного человеческого существования, что не может не разрушать многие привычные способы ориентации человека в мире, традиционные человеческие ценности, привычные представления о свободе, смысле жизни. Обостряется старая философская проблема отношения реального и кажущегося, а также знания и мнения.

По мере усиления интегративных процессов в научно-техническом развитии для ученых становится очевидной значимость междисциплинарных исследований, знаний и навыков. Профессионализм связывается уже не с какой-либо узкой специализацией, а со способностью работать «на стыке» различных дисциплин и функциональных областей, умением обеспечить коммуникацию со специалистами из смежных областей научного знания и т.п.

Соответственно, одной из актуальных задач современной эпистемологии является исследование структуры и закономерностей формирования стиля познания, мышления, соответствующих задачам междисциплинарных исследований и внедрение полученных результатов в систему высшего профессионального образования. Необходимы специальные усилия и систематические мероприятия со стороны научного и педагогического сообщества по подготовке будущих профессионалов к участию в междисциплинарных исследованиях и коммуникации в мультидисциплинарных сообществах. Практика показала, что одной из эффективных форм подготовки являются междисциплинарные научные конференции.

В МГТУ МИРЭА с 2006 г. проводятся Всероссийские междисциплинарные конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Искусственный интеллект: философия, методология, инновации»¹, целью которых является организация междисциплинарных дискуссий по актуальным философским, методологическим и теоретическим проблемам искусственного интеллекта. [15] Конференция является пространством научного диалога специалистов-«смежников» в данной области научных исследований. Молодые ученые обучаются навыкам исследования в качественном отношении сообщества, участвующего в постановке, обсуждении и решении тех или иных междисциплинарных проблем, умению выявлять сложившиеся междисциплинарные практики обсуждения различных проблем, а также артикулируемые и неартикулируемые позиции в дискурсе, зависящие

¹ Конференции проводятся при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (РГНФ).

от самых различных факторов (например, образование, принадлежность к той или иной научной школе, особенности стиля профессионального мышления), влияние которых не всегда осознается исследователем. Конференция является также форумом, на котором обсуждаются новые риски человеческого существования, проводится социально-гуманитарная экспертиза научно-технологических проектов и др.

Изучение практики междисциплинарного взаимодействия показало, что в философии информатики существуют гуманитарное и информационно-технологическое направления, а в философии искусственного интеллекта — гуманитарное и инженерное направления [5]. Данная методологическая рефлексия позволила смягчить конфликт интерпретаций, например, разную трактовку знания в эпистемологии и инженерии знаний и т.п.

Вместе с тем, возникла необходимость в обсуждении феномена информации и информационного подхода в целом, в связи с тем, что информационный подход мог бы стать методологической основой интеграции исследований НБИК-конвергенции.

Информационный подход в настоящее время широко распространен, во многих науках используются различные информационные модели и процессы обработки информации, а отношение «данные — информация — знания» служит основой получения знаний и основой извлечения знаний для формирования информационных ресурсов [17]. Вместе с тем, теория информации, построенная на работах К.Э. Шеннона, исключала поиск смысла в сообщениях и ограничивалась оценкой информационного объема, который даже в уважаемых изданиях называли «количеством информации».

В настоящее время уточнение отношений информации и знаний весьма актуально в контексте проблем «информационного общества» и «общества знаний». Актуальность нового подхода к рассмотрению феномена информации обусловлена назревшим обновлением информационной терминологии, методологическими и методическими потребностями в преподавании курсов по информационным ресурсам и управлению интеллектуальной собственностью.

Следует отметить, что современные исследования в области информации характеризуются углубленным изучением смысловой стороны информации и информационных сообщений. Информационное сообщение трактуется как отражение и реализация всего опыта, накопленного человечеством, трансляция мировой культуры, а не просто передача символов (Шеннон). Сущностные характеристики информации и информационного сообщения диалектически связаны с мышлением, методами коммуникации, что предполагает не одностороннее (как у Шеннона) а двустороннее сотрудничество от-

правляющего (источника, сервера) и принимающего (приемника, клиента). Хартли и Шеннон безуспешно пытались описать семантику сообщений с помощью Булевой алгебры. В итоге, Шеннон пришел к выводу о нерелевантности семантических проблем информации проблемам математической теории связи.

Обратимся к концепции Л. Флориди, который рассматривает информацию не только как инструмент снятия неопределенности (Шеннон), но и развивает подход Н. Винера, состоящий в том, что главное в информации — содержательность и знания, т.е. семантика. Семантическая теория информации, по Л. Флориди, это теория, в которой главным является содержательность информации, а не информационная емкость. Главным критерием наличия семантики (содержательности) в информации Л. Флориди определяет истинность информации с позиций эпистемологии. Со времен античной философии существует проблема различия между «эпистеме» (истинным знанием) и «докса» (правдоподобным знанием), более 2000 лет человечество решает эту проблему. Правдоподобное знание может быть заблуждением, может быть мнением и может перейти в разряд эпистеме. Вместе с тем, критериев различия между правдоподобным и истинным знанием Л. Флориди не вводит, что ослабляет его теорию. Основная слабость теории Л. Флориди — это рассмотрение информации как некой однородной совокупности. В отличие от Хартли и К.Э. Шеннона, пытавшихся применить для описания информации простые модели Булевой алгебры, Л. Флориди применяет более сложные математические модели с использованием теории множеств и логики первого порядка. Как Хартли и Шеннон, он рассматривает информацию как однородную сущность без выделения в ней информационных и семантических единиц. Л. Флориди говорит о смысловом содержании информации как обязательном факторе теории информации. Но вместе с тем, он не учитывает то, что смысловое содержание информационного сообщения зависит от информационных единиц и отношений между ними. Именно подход Винера, а не Шеннона, развивает Лучиано Флориди, когда делает попытку ввести «общее определение информации» (*le General DeÑnition of Information — GDI*). Для этого он выдвигает следующие положения: σ является экземпляром информации, понимаемой как смысловое содержание, если и только если: (GDI.1) σ состоит из одного или нескольких данных; (GDI.2) данные в σ хорошо сформированы; (GDI.3) хорошо сформированные данные в σ являются значимыми. Л. Флориди отмечает полисемию и многозначность информации. Значение смысла информация, по его мнению, зависит от окружения и контекста. Однако в своей теории Флориди вводит качественные характеристики «хорошо сформированы» и «значимы», что автоматически

требует введения объективного критерия «сформированности» и «значимости». Исходным положением является то, что смысловое содержание информации можно представить в виде некой системы элементов (информационной семантической системы), между которыми существуют отношения.

Системный анализ информационных семантических единиц обнаруживает их функционирование как открытой системы. Смысл информационного сообщения определяют значения элементов и конкретные отношения между ними. Совокупность информационных единиц обладает всеми системными свойствами. Это дает основание ввести термин «информационная семантическая система». Термин «информационная семантическая система» вводится в альтернативу термину информационная система, под которым понимают системы сбора обработки и представления информации. Информационная система реализована на физическом уровне обработки информации.

Информационная семантическая система представляет собой структурную систему связанных семантических единиц. Информационная семантическая система реализована на логическом уровне описания информации. Существует понятие сложной системы (в общей теории систем), которая рассматривает систему как совокупность однородных элементов связанных между собой, образующих подсистемы и части системы. Информационная семантическая система отличается от сложной системы принципиально тем, что состоит из качественно разнородных элементов. Этими элементами являются семантические информационные единицы. Напомним, что элементом называют часть системы, которая неделима на более мелкие составляющие части. неделимость является признаком элемента системы. Информационная семантическая система имеет несколько элементов, каждый из которых обладает своим признаком неделимости по разным критериям.

Получение и формирование информационных ресурсов собственной предметной области является одной из основных задач любой науки. Современные информационные ресурсы включают данные, информацию, описания, базы данных, знания и технологические системы. В информационной сфере реализуются все виды информационных взаимодействий, порождаемых взаимодействиями субъектов и объектов инфосферы. Основой взаимодействия является информационное взаимодействие, которое может быть пассивным (созерцание, наблюдение) или активным (измерение, воздействие, эксперимент), при этом пассивное взаимодействие можно обозначить как информирование, активное взаимодействие — как собственное взаимодействие. В информационном поле присутствуют не-

явные знания [12, 14], например, скрытая связь между параметрами. Для выявления скрытой связи применяют специальные методы анализа, к числу которых относится коррелятивный анализ.

Таким образом, поле приложений современных эпистемологических исследований расширяется, развивается взаимодействие философии, эпистемологии с когнитивной наукой, когнитивными дисциплинами изучающими познавательные процессы и познавательную деятельность человека. Междисциплинарный характер исследований является особенностью современных исследований интеллектуальных процессов в эпистемологии и когнитивной науке.

Литература:

1. *Алексеева И.Ю.* Что такое общество знаний? — М.: Когито-Центр, 2009. — 96 с.
2. Концепция «общества знания» в современной социальной теории: Сб. науч. трудов / РАН. ИНИОН. Центр социал. науч.-информ. исслед. Отдел социологии и социальной психологии. Отв. ред. Д.В. Ефременко. — М.: ИНИОН РАН, 2010. — 234 с.
3. Эпистемология: перспективы развития. Отв. ред. В.А. Лекторский. М.: «Канон+» РООИ «Реабилитация», 2012 — 536 с.
4. *Lektorski V.A.* Activity-Based Conceptions in Soviet Philosophy and Cognitive Science // Russian Studies in Philosophy. Summer 2013. Vol. 52. №1. — P. 53–69.
5. *Никитина Е.А.* Познание. Сознание. Бессознательное. — М.: Либроком, 2011. — 224 с.
6. Когнитивный подход: философия, когнитивная наука, когнитивные дисциплины. / Под. ред. В.А.Лекторского. М., 2008.
7. Информационный подход в междисциплинарной перспективе (материалы круглого стола). — Вопросы философии. — 2010. — №2. — С. 84–112.
8. Естественный и искусственный интеллект: методологические и социальные проблемы / под ред. Д.И. Дубровского и В.А. Лекторского. — М.: Канон+, РОИИ «Реабилитация», 2011. — 352 с.
9. Искусственный интеллект: междисциплинарный подход / Под ред. Д.И.Дубровского и В.А.Лекторского. — М.: ИИнтелЛ, 2006. — 448 с
10. Когнитивные исследования: Сборник научных трудов: вып. 1 / Под ред. В.Д. Соловьева. — Казань: КГУ, 2006. — 240 с.
11. Конвергенция биологических, информационных, нано— и когнитивных технологий: вызов философии (материалы круглого стола) — Вопросы философии. — 2012. — №12. — С. 3–23.
12. *Лекторский В.А., Кудж С.А., Никитина Е.А.* Эпистемология, наука, жизненный мир человека // Вестник МГТУ МИРЭА. — 2014. — №2(3). — С. 1–12.

13. *Лохин В.М., Романов М.П.* Интеллектуальные системы управления — перспективные технологии для создания техники нового поколения. — Вестник МГТУ МИРЭА, 2014 — №1(2) — С. 1–24.
14. *Никитина Е.А.* Неявное знание в контексте конвергенции естественного и искусственного // Рефлексивные процессы и управление. Сборник материалов IXМеждународного симпозиума. 17-18 октября 2013 г. Москва, ИФ РАН. — М.: Когито-Центр, 2013. — С. 141–143.
15. Искусственный интеллект: философия, методология, инновации // Сборник трудов VII Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 13–15 ноября 2013 г. Под ред. Д.И. Дубровского и Е.А. Никитиной. В 2-х частях. — М.: Радио и связь, 2013. Часть 1. — 154 с., часть 2 — 184 с.
16. *Соловьев И.В.* Проблемы исследования сложной организационно-технической системы // Вестник МГТУ МИРЭА, 2013 — №1(1) — С. 20–40.
17. *Кудж С.А.* О философии информации // Перспективы науки и образования, 2013, №6. — С. 9–13.

УДК: 32.81

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛОК ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Редько В.Г.

*Научно-исследовательский институт
системных исследований РАН, Москва, Россия
E-mail: vgreedko@gmail.com*

Аннотация. Обсуждается проблема моделирования интеллекта человеческого уровня. Проведено компьютерное моделирование предпосылок познавательных способностей человека, используемых в научном познании. Моделирование основано на биологических экспериментах на рыбах, изучающих лабиринты.

Ключевые слова: познавательные способности, предсказание, поисковое поведение.

MODELING OF BIOLOGICAL PREREQUISITES FOR HUMAN COGNITIVE ABILITIES

Red'ko V.G.

*Scientific Research Institute for System Analysis,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
E-mail: vgreedko@gmail.com*

Abstract. The paper discusses the problem of modeling of human level intelligence. Computer simulation of prerequisites for human cognitive abilities, that are used by scientists, is presented. The simulation is based on biological experiments on fishes that are searching mazes.

Key words: cognitive abilities, prediction, searching behavior

1. Возможно ли моделирование интеллекта человеческого уровня?

Многие люди задумывались над вопросами: можно ли воплотить в компьютерной программе интеллект человеческого уровня? Как можно подойти к моделированию человеческого мышления?

Известно, что в специальных областях что-то подобное сделать можно. Компьютер уже обыгрывал чемпиона мира по шахматам. Но можно ли продвинуться дальше и в какой степени?

Существует широкий круг исследований, посвященных изучению естественного интеллекта, попыткам моделирования мышления. Отметим некоторые из работ в этом направлении.

Ряд работ отечественных исследователей в этой области представлен в недавно вышедшей книге: «Подходы к моделированию мышления» (Под ред. В.Г. Редько). М.: УРСС, 2014 [1]. В этой книге рассмотрены несколько подходов: со стороны изучения познавательных способностей биологических организмов, со стороны научных основ искусственного интеллекта, со стороны использования нейронных сетей, со стороны построения моделей языка, со стороны робототехники. Конечно, в основном это только подходы, некоторые начальные шаги, но, тем не менее, анализ путей, ведущих к моделированию мышления, ведется.

Отметим еще ряд интересных подходов.

В ранней работе [2] (М.Н. Вайнцвайг, М.П. Полякова, 1975 г.) была сделана очень интересная попытка моделирования *мышления в чистом виде*. На основе четкой теоретической проработки строилась тщательно продуманная модель того, как могли бы люди познавать закономерности незнакомого им мира, минимально специализированного для наших органов чувств. В этой работе проводилась аналогия со слепоглухонемыми людьми, которые использовали свои мыслительные способности, получали высшее образование, были авторами книг; эти люди использовали интеллект в максимально чистом виде.

Интересный подход к воссозданию интеллекта человеческого уровня был предложен в работе [3]. Предлагалось создать такого интеллектуального робота, который был бы внешне похож на человека, и поведение которого было бы настолько «разумно», что люди могли бы выбрать этого робота президентом своей страны. Люди не смогли бы отличить такого робота от настоящего человека и высоко ценили бы его. Данный подход интересен, он предполагает исследование политической рациональности, особенностей мышления политических лидеров.

Рассмотрим возможность воплощения в компьютерной программе мыслительных способностей ученого. Анализ когнитивных способностей человека, используемых в научном познании, создает определенные возможности моделирования интеллекта человеческого уровня. Так, в работе М.Н. Вайнцвайга [4] анализировались модели автономных агентов, которые познают закономерности механики, наблюдая за столкновениями тел, например, шаров (под авто-

номным агентом подразумеваем модельный организм, воплощенный в компьютерной программе). Исследование таких автономных агентов может быть нацелено на то, чтобы агенты могли бы прийти к самостоятельному открытию трех законов Ньютона. Ну, чем это не интеллект человеческого уровня (конечно, пока только в замыслах) — открытие законов природы?!

Можно представить развитие «интеллекта» автономного агента в направлении интеллекта ученого [5], рассматривая, например, достаточно хорошо известный опыт научной работы И. Ньютона. У агента должны быть база знаний, стремление к получению новых знаний и обобщению знаний, любознательность, направляющая агента к постановке вопросов о внешнем мире и решению этих вопросов путем постановки экспериментов. Агенты должны учитывать многочисленные связи между уже имеющимися знаниями. Должен быть коллектив агентов, исследующий внешний мир и коммуникации между ними. Должно быть самосознание агента, эмоциональная самооценка результатов своей деятельности и стремление агента достигнуть наиболее высоких результатов в коллективе агентов. Агенты должны иметь стремление к получению наиболее ясных, четких и компактных знаний, таких как законы Ньютона или аксиомы Евклида. И конечно, агенты должны освоить возможности логических выводов, позволяющих получить многочисленные следствия законов и аксиом.

Путь к интеллекту такого уровня весьма непрост, но, все же, он просматривается.

Достижение данной цели возможно лишь в отдаленном будущем, но на пути к ней принципиально важно изучить отдельные предпосылки познавательных способностей человека, которые проявляются на уровне достаточно простых биологических организмов. Опираясь на биологический эксперимент, построим модель формирования предсказания у рыб, плавающих в простых лабиринтах.

2. Моделирование познавательных способностей рыб, изучающих лабиринты

2.1. Противоположные тенденции познания внешнего мира: баланс между новизной и предсказуемостью

Как подчеркивается в работах В.А. Непомнящих [6–8], в поведении животных постоянно присутствуют две противоположные тенденции, не связанные непосредственно с физиологическими потребностями. Одна из них — поиск новой, *непредсказуемой* стимуляции, а другая — стремление *предсказывать* результаты своего поведения.

Модели поведения животных часто основываются на предположении, что поведение животного направлено на достижение максимальной выгоды при минимуме затрат времени и энергии, например, при необходимости выбора участка с кормом предпочтение отдается тому участку, где корма больше или его легче собрать. Однако в биологических исследованиях было замечено [6–8], что если животное сыто (пищевая мотивация не слишком высока), то в его поведении присутствует стремление найти новые объекты или обнаружить новые свойства у известных предметов. Для объяснения такого поведения была выдвинута гипотеза «уменьшения неопределенности» [9, 10], которая предполагает наличие у животного постоянной мотивации к сбору информации о среде. Эта мотивация преобладает, если основные потребности (например, в пище) удовлетворены. Тогда поведение животного, стимулируемого мотивацией к сбору информации об окружающей среде, приводит к уменьшению неопределенности. Если же животное сильно голодно и видит пищу, то исследовательское поведение отсутствует [9].

Уменьшение неопределенности в поведении животных можно проиллюстрировать на эксперименте со скворцами [11]. Скворцам предлагали миски с одинаковым количеством корма, смешанного с песком. Одна из мисок была прикрыта прозрачной крышкой, а другая — непрозрачной, причем скворцы могли легко пробить крышки клювом и достать корм. Птицы предпочитали добывать корм в миске с непрозрачной крышкой, несмотря на то, что им приходилось искать там корм вслепую. Это предпочтение имело место, даже если корма в миске с непрозрачной крышкой было меньше. Скворцы стремились к ясности своих знаний о внешнем мире.

В поведении животных наряду с поиском новизны можно выделить также и стремление к предсказуемости результатов своих действий, что дает им возможность контролировать окружающую среду. Эти две тенденции (новизна и предсказуемость) в поведении животных являются на первый взгляд противоречащими друг другу. Реально мы сталкиваемся с тем, что между новизной и предсказуемостью складывается определенный баланс. Взаимодействие этих двух тенденций приводит к тому, что животное постоянно исследует последствия своих действий и незнакомые объекты во внешней среде, даже если они не связаны с удовлетворением физиологических потребностей организма.

Отметим, что важная роль накопления знаний для жизни биологических организмов подчеркивается в работах А.А. Жданова [12].

Важно подчеркнуть, что накопление знаний при поисковом поведении животных является предшественником развития знаний человека при его творческой поисковой активности. В частности, в на-

учном познании ученый стремится не только к достоверности получаемых знаний и обеспечению предсказуемости получаемых на основе этих знаний результатов, но и к поиску новых знаний. Таким образом, и в научном познании складывается баланс между новизной и предсказуемостью. При этом построение моделей внешнего мира (формирование новых знаний) и обеспечение предсказуемости — важные составляющие научного познания.

Например, можно представить, как ученый, изучая определенное явление, тщательно проводит физические эксперименты, стремясь разобраться в этом явлении. После того, как явление стало понятным, а результаты экспериментов — предсказуемыми, ученый переключается на изучение новых явлений, на эксперименты с непредсказуемыми результатами.

Далее представлен начальный этап моделирования познавательных способностей достаточно простых животных, изучающих лабиринты. Строятся компьютерные модели накопления новых знаний и предсказательных способностей рыб, и сопоставляются результаты компьютерного моделирования с данными биологического эксперимента. При моделировании учитывается то, что в поведении животных постоянно присутствуют две указанные противоположные тенденции: 1) поиск новой, непредсказуемой стимуляции и 2) стремление предсказывать результаты своего поведения.

Модели основаны на биологическом эксперименте навигации рыб данио рерио в двух типах лабиринтов.

2.2. Биологический эксперимент

В биологическом эксперименте, выполненном В.А. Непомнящих и Е.А. Осиповой (результаты эксперимента кратко изложены в работах [13, 14]), изучалось поведение рыб данио рерио в незнакомой им среде — в лабиринтах двух типов: в простом крестообразном лабиринте с 4-мя коридорами (рис. 1) и в более сложном лабиринте с 11-ю коридорами (рис. 2).

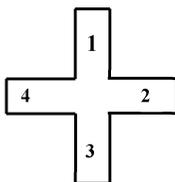


Рис. 1. Крестообразный лабиринт.

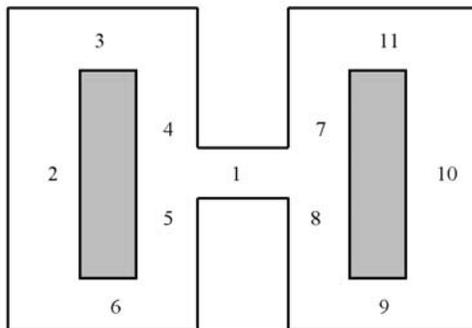


Рис. 2. Лабиринт с 11-ю коридорами. Серым цветом показаны непрозрачные барьеры внутри левого и правого отсеков.

Поведение рыб в крестообразном лабиринте

Наиболее подробно исследовалось поведение рыб в крестообразном лабиринте. Размеры лабиринта составляли: длина коридора (от входа в коридор из центра до торца): 65 мм, ширина коридора: 33 мм, центр (квадрат между входами в коридоры): 33×33 мм, высота стенок лабиринта: 48 мм, уровень воды в лабиринте 38 мм. Типичная длина рыб составляла 25 мм. Основные результаты биологического эксперимента сводятся к следующему. Наблюдали 20 самцов данио рерио. Каждого самца по отдельности помещали в один из коридоров и закрывали заслонкой выход из него на 2 минуты, а потом заслонку убирали и вели съемку 15 минут. Ниже характеризуются основные виды перемещения рыб, нумерация коридоров показана на рис. 1. Значительная часть перемещений рыб между коридорами подчинялась простым правилам. Такие перемещения мы будем называть мотивами:

1. Самый заметный мотив — повторяющиеся челночные переходы между смежными коридорами, например, 12121212 или 141414...
2. Менее частый — повторяющиеся челночные переходы между противоположными коридорами: 131313 и 24242424.
3. Изредка наблюдались последовательные переходы из одного коридора в другой смежный по часовой стрелке (1234) или в противоположном направлении (3214) и переходы с «возвратом», например, 12321 или 14341.

Кроме мотивов, у рыб наблюдаются и такие последовательности посещения коридоров, которые не подчиняются каким-либо правилам, случайные, например, 231421.

Характерный пример последовательности посещаемых рыбой коридоров:

21212121212323234223232323132323232321323123134123412
3412342323232323132143141214121212341212121212313212121
234123432424242413131312424243121324121412312.

Подчеркнуты цепочки, соответствующие указанным мотивам.

Поведение рыб в лабиринте с 11-ю коридорами

В лабиринте с 11-ю коридорами (рис. 2) длина коридоров 2 и 10 составляла 110 мм, коридоров 3, 6, 9 и 11 — 60 мм, коридоров 4, 5, 7 и 8 — 45 мм. Длина коридора 1—30 мм. Ширина каждого коридора — 20 мм. Рыбы были такими же (с теми же размерами), как и в случае крестообразного лабиринта.

Результаты исследований рыб в лабиринте с 11-ю коридорами показали, что значительная часть передвижений рыб не была случайной. Наблюдались следующие упорядоченные передвижения:

1. Челночные перемещения в противоположных направлениях вдоль какого-либо одного из достаточно длинных коридоров 2, 3, 6, 9, 10, 11 (но не 1). Достигнув конца коридора, рыба разворачивалась, двигалась в обратном направлении, доходила до противоположного конца коридора, снова разворачивалась и т.д.
2. Челночные передвижения, включающие два смежных коридора, например, 232323...
3. Передвижения вдоль коридоров 4 и 5 или 7 и 8. В этих случаях рыба переходила, например, из коридора 4 в коридор 5, поворачивала в конце последнего, возвращалась в коридор 4 и т.д.: 454545454.... При таких передвижениях вход в коридор 1 игнорировался.
4. Передвижения 417141714... и 5181518..., в которых рыба поворачивала в коридор 1 всегда, когда проходила мимо него.
5. Обход какого-либо отсека по периметру, например, 2345623456...

Таким образом, в поведении рыб наблюдаются упорядоченные передвижения, подчиняющиеся определенным правилам. При этом рыба может постоянно игнорировать один и тот же внешний ориентир (вход в коридор 1) при выполнении одной последовательности, но регулярно реагировать на него же при выполнении другой последовательности.

Помимо упорядоченных передвижений наблюдались и разнообразные передвижения между коридорами, не подчиняющиеся явным каким-либо правилам, например, 6518987...

Подчеркнем, что крестообразный лабиринт и лабиринт с 11-ю коридорами существенно различаются: все коридоры в крестообразном лабиринте видны рыбе после первого ее появления в центре, а коридоры в лабиринте, представленном на рис. 2, заранее рыбе неизвестны.

2.3. Модели движения рыб, накопления ими знаний, формирования предсказаний

Модель движения рыб по крестообразному лабиринту

В модели считалось, что имеются только основные указанные выше мотивы: тип 1, т.е. четыре мотива движения между смежными коридорами и тип 2, т.е. два мотива движения между противоположными коридорами (всего 6 мотивов). Также учитывалась возможность случайного выбора того или иного варианта движения. Задавались вероятности переходов между мотивами рассматриваемых типов для каждого такта времени и вероятности выбора случайного движения и выбора того или иного мотива (если до этого движение происходило без мотива).

Компьютерное моделирование продемонстрировало, что навигация модельных рыб качественно подобна поведению реальных рыб. Наблюдалось повторяющиеся челночные переходы между смежными коридорами, что соответствует мотиву первого типа. Изредка наблюдались и повторяющиеся челночные переходы между противоположными коридорами, что соответствует мотиву второго типа.

Модель движения рыб по лабиринту с 11-ю коридорами

Для лабиринта с 11-ю коридорами (рис. 2) была построена компьютерная модель, в которой предполагалось, что каждый из коридоров характеризуется степенью знания о нем C_i , $i = 1, 2, \dots, 11$. Считалось, что знания C_i могут увеличиваться при прохождении рыбы по коридору: если рыба проплыла весь i -й коридор, то величина C_i после этого увеличивалась на ΔC . Также считалось, что величины C_i ограничены: $0 \leq C_i \leq 1$. Перед началом эксперимента у рыбы знания обо всех коридорах были нулевые: $C_i = 0$. Также формально полагалось, что если какая-либо величина C_i в результате добавления ΔC превысила 1, то она становится равной 1.

Считалось, что если рыба дошла до конца какого-либо коридора, для которого величина C_i в результате прохождения этого коридора

дора превысила порог Th_c то рыба переходит в следующий коридор. Например, если рыба прошла коридор 2 вверх, и C_2 стало больше Th_c , то рыба переходит в коридор 3. Также считалось, что если рыба дошла до развилки, в которой возможны два пути, то она с большей вероятностью P_s выбирает смежный с предыдущим коридор, чем путь прямо, в противоположный коридор, который она выбирает с вероятностью P_f . Например, если рыба прошла коридор 7 вниз, и C_7 стало больше Th_c , то рыба с вероятностью P_s переходит в коридор 1, а с вероятностью P_f — в коридор 8. Кроме этого, были введены аналогичные вероятности для переходов к той же стенке, вдоль которой рыба двигалась до этого (эта вероятность равна P_w), и к противоположной стенке (эта вероятность равна P_u). В лабиринте, представленном на рис. 2, это возможно только во время выхода из коридора 1. Так, если рыба до коридора 1 шла по коридору 4, то после выхода из коридора 1 она предпочтительно (с вероятностью P_w) перейдет в коридор 7 (вдоль той же стенки, что и раньше), и менее вероятно (с вероятностью P_u) в коридор 8 (к противоположной стенке). Дополнительно будем считать, что коридор 1 имеет малые по сравнению с другими коридорами размеры, поэтому рыба сразу весь его видит, поэтому считаем, что после первого попадания рыбы в этот коридор, всегда $C_1 = 1$.

Приведенные параметры считались следующими: $\Delta C = 0.3$, $Th_c = 0.8$ (это означает, что для того, чтобы как следует познакомиться с коридором, рыбе достаточно пройти его 3 раза), $P_s = 0.7$, $P_f = 0.3$, $P_w = 0.8$, $P_u = 0.2$.

Моделирование продемонстрировало качественное подобие движения модельных «рыб» их биологическим прототипам. Как и в биологическом эксперименте, наблюдались челночные перемещения по отдельным коридорам, а также челночные перемещения по смежным коридорам, например, перемещения 10, 11, 10, 11. В компьютерных расчетах четко наблюдался довольно быстрый рост знаний модельных рыб о лабиринте (рис. 3). Один такт времени на рис. 3 соответствовал времени прохождения рыб по одному коридору. Видно, что после начального блуждания модельные рыбы полностью изучают лабиринт, их знания о проходимом в текущий момент времени коридоре становятся максимально возможными: $C = 1$.

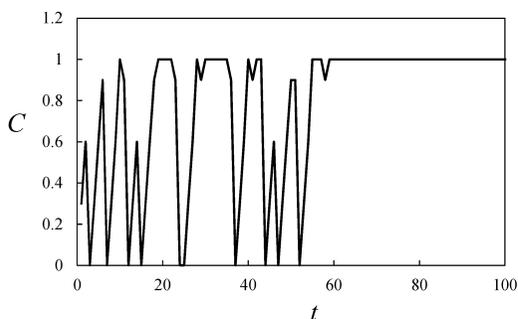


Рис. 3. Зависимость знания C модельной рыбы о проходимом ей коридоре от времени t .

Модель предсказаний для движения рыб по крестообразному лабиринту

Была построена компьютерная модель, в которой рассчитывалась уверенность агентов (модельных рыб) в предсказаниях будущих ситуаций. Уверенность характеризовалась величиной, меняющейся от 0 до 1. Время в модели дискретно: $t = 0, 1, 2, \dots$. Модель строилась для простого случая крестообразного лабиринта (рис. 1). Модель предполагала, что имеются исходные ситуации S_t (каждая ситуация соответствует коридору, в котором агент находится, число различных ситуаций равно числу коридоров и равно 4). В каждой ситуации агент может выполнять три действия A_t : при выходе из коридора, агент может 1) повернуть в правый коридор, 2) пройти в противоположный коридор, 3) повернуть в левый коридор. Отметим, что рыбы так редко возвращаются в коридор, из которого только что вышли, что этим действием в модели пренебрегаем. При выполнении действия агент предсказывает, в какой ситуации S_{t+1} он дальше окажется (таких новых ситуаций 4). В некоторой степени это предсказание подобно формированию простого акцептора результата действия в теории функциональных систем П.К. Анохина [15].

Далее агент определяет, сбылось ли его предсказание. Если предсказание сбылось, то уверенность в данном предсказании увеличивается, если предсказание не сбылось, то такая уверенность уменьшается. Таким образом, формируются уверенности в предсказании конечного элемента цепочки $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$. Конечно, в данном простом лабиринте рыбе почти нечего предсказывать, тем не менее, она не уверена до конца, что в том коридоре, в котором она уже несколько раз побывала, не появилось чего-либо нового. Поэтому ком-

пьютерная модель содержит естественную динамику уверенностей предсказания.

В модели была введена следующая эвристика. Предполагалось, что когда уверенность агента в текущем предсказании мала (меньше определенного порога Th), то агент стремится повторить только что пройденный маршрут, т.е. агент из того коридора, в котором он в данный момент времени t находится, возвращается в тот коридор, в котором он был в предыдущий момент $t-1$. А если уверенность агента в текущем предсказании больше порога Th , то агент совершает случайное действие, для которого уверенность агента в предсказываемом результате, как правило, невелика. Множество уверенностей для всех возможных цепочек $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$ запоминалась агентом. Кроме того, считалось, что уверенности в предсказании ожидаемого результата для всех цепочек $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$ все время немного уменьшаются.

Данная эвристика соответствует отмеченным выше двум противоположным тенденциям: 1) стремлению предсказывать результаты своего поведения (при этом уверенности при правильном предсказании усиливаются), и 2) поиску новой, непредсказуемой ситуации (что соответствует выполнению случайного действия при достижении высокой текущей уверенности).

Также предполагалось, что когда агент делает предсказание для данного канала и действия, он уже предсказывает ожидаемый результат действия в соответствии с имеющимися у него уверенностями такого предсказания: для уверенностей, близких к 1, он однозначно предсказывает результат, а для малых уверенностей, он предсказывает результат вероятностно.

Основные параметры расчета в компьютерной модели были таковы: типичное увеличение/уменьшение уверенности при правильном/неправильном предсказании составляло 0.3, порог Th , с которым сравнивается уверенность предсказания, равен 0.9, характерное время уменьшения всех уверенностей составляло 200 тактов времени.

Характерный пример последовательности посещаемых агентом коридоров таков:

43434342424243414141212121243413131313121232323232323
1312323434343131312123243434313141414141424242421212121
31313131414343434323232323212121232323.

Как и для реальных рыб (см. изложение результатов биологического эксперимента выше), подчеркнуты цепочки, соответствующие отмеченным выше мотивам. Видно, что последовательности посещаемых коридоров для модельных агентов и для реальных рыб ана-

логичны друг другу. Для агентов не встречаются только редкие для рыб цепочки движения «по кругу», такие как 1234. По-видимому, этот редко встречающийся у рыб мотив можно учесть и для агентов, вводя дополнительную эвристику, специфичную для ряда животных: преимущественное перемещение вдоль выбранной стенки.

В компьютерной модели несложно проследить динамику суммарной уверенности агента A_S в предсказании для всего лабиринта, суммируя уверенности для всех возможных цепочек $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$. Зависимость от времени t суммарной уверенности в предсказаниях для всего лабиринта показана на рис. 4. В начале расчета уверенность для всех возможных предсказаний агента была равна 0. В дальнейшем уверенность растет. Для каждого коридора и каждого действия только одно предсказание будущей ситуации является правильным. Поэтому максимально возможное число правильных предсказаний равно максимальной суммарной уверенности для всего лабиринта. С учетом числа коридоров и действий для всех возможных цепочек $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$ это число равно $4 \cdot 3 = 12$. Это максимально возможное значение суммарной уверенности в предсказаниях не достигается из-за того, что все уверенности постоянно немного уменьшаются. После достижения определенного уровня суммарная уверенность выходит на насыщение и случайно колеблется, не достигая максимально возможного значения (рис. 4).

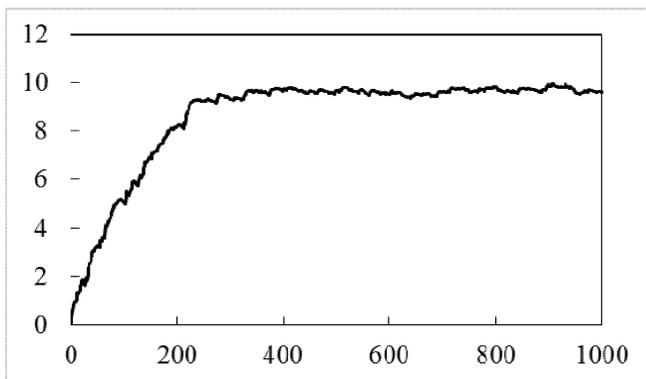


Рис. 4. Зависимость суммарной уверенности агента в предсказаниях для всего лабиринта от времени.

Таким образом, построена модель усовершенствования уверенностей рыб в будущих событиях для крестообразного лабиринта.

Для лабиринта с 11-ю коридорами также можно построить аналогичную модель следующим образом. Считаем, что имеется две стадии познания лабиринта. На первой стадии агенты познают общие черты лабиринта, при этом знания обо всех проходимых ими коридорах увеличиваются. Эта стадия как раз соответствует изложенной выше модели увеличения знаний рыб при их движении по лабиринту с 11-ю коридорами. В результате первой стадии агент знает достаточно обо всех коридорах.

На второй стадии для текущей ситуации и текущего действия агента формируются предсказания в будущих ситуациях, аналогично тому, как это происходит в изложенной выше модели для крестообразного лабиринта. Ситуации при этом соответствуют коридору, в котором агент находится, и той развилке коридора, в которой расположен в текущий такт времени. Например, агент может находиться в самой верхней точке коридора 2 или в самой правой точке коридора 1 (в последнем случае агент может дальше переместиться в коридоры 7 или 8). То есть, число возможных ситуаций S_t возрастает по сравнению с крестообразным лабиринтом. А действия A_t остаются такими же: пойти направо/налево или пойти прямо. В итоге агент должен формировать уверенности в предсказании конечных элементов цепочек: $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$.

Существенное различие для двух лабиринтов — крестообразного лабиринта и лабиринта с 11-ю коридорами — состоит в том, что в крестообразном лабиринте рыбы с самого начала, зайдя в центр лабиринта, могут видеть все коридоры. А для лабиринта с 11-ю коридорами рыбы должны предварительно получить начальные знания обо всех коридорах — для этого и целесообразно ввести в модель первую стадию для такого более сложного лабиринта.

3. Обсуждение и выводы

Работа по экспериментальному изучению поведения рыб в лабиринтах и соответствующему моделированию только недавно начала. Получены только первые результаты.

Содержательно наиболее интересна модель предсказаний рыб. Эта модель имеет хороший потенциал для будущего развития. Проведенный анализ выполнен для очень простого случая поведения рыб в крестообразном лабиринте. Тем не менее, это поведение характеризуется такими важными понятиями, как модель и предсказание. Рыбы формируют модель лабиринта и делают предсказания.

Подчеркнем, что в научном познании также формируются модели внешнего мира и делаются предсказания на основе этих моделей [16, 17]. Конечно, уверенность рыб основана на простом индуктив-

ном обобщении опыта, а уверенность ученого в предсказаниях при построении модели (например, модели всей механики на основе трех законов Ньютона) формируется на базе сопоставления многих фактов, концепций и теорий. И различие между творческими процессами познания природы человеком и предпосылками этих процессов у рыб огромно. Пока видны только важные общие черты этих процессов.

Литература:

1. Подходы к моделированию мышления (Под ред. Редько В.Г.). — М.: УРСС, 2014.
2. *Вайнцвайг М.Н., Полякова М.П.* Об одном подходе к проблеме создания искусственного интеллекта // Моделирование обучения и поведения. М.: Наука, 1975. С. 209–235. Эта статья опубликована также в книге «От моделей поведения к искусственному интеллекту» (Под ред. Редько В.Г.). — М.: УРСС, 2006. — С. 119–144.
3. *Chella A., Lebiere C., Noelle D.C., Samsonovich A.V.* On a Roadmap to Biologically Inspired Cognitive Agents // Biologically Inspired Cognitive Architectures 2011. Proceedings of Second Annual Meeting of the BICA Society (Eds. Samsonovich A.V., Johannsdottir K.R.). — Amsterdam et al.: IOS Press, 2011. — PP. 453–460.
4. *Вайнцвайг М.Н.* Мышление как механизм обучения организации поведения // В книге [1]. — С. 203–218.
5. *Red'ko V.G.* Principles of functioning of autonomous agent-physicist // Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the Third Annual Meeting of the BICA Society (Eds. Chella A., Pirrone R., Sorbello R., Johannsdottir K.R.). — Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2012. — PP. 265–266.
6. *Непомнящих В.А.* Адаптация к решению частных задач и «глобальные» цели в поведении животных // Нейроинформатика (электронный журнал). 2012. Т. 6. №1. — С. 12–22. URL: <http://www.niisi.ru/iont/ni/Journal/V6/N1/Nepomnyashchikh.pdf>
7. *Непомнящих В.А.* Адаптация и автономия в поведении животных // XV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика–2013»: Лекции по нейроинформатике. — М.: НИЯУ МИФИ, 2013. — С. 106–123.
8. *Непомнящих В.А.* Связь между автономным и адаптивным поведением у искусственных агентов и животных // В книге [1]. — С. 9–28.
9. *Inglis I.R., Langton S., Forkman B., Lazarus J.* An information primacy model of exploratory and foraging behaviour // Animal Behaviour. 2001. V. 62. No. 3. — PP. 543–557.
10. *Inglis I.R., Forkman B., Lazarus J.* Free food or earned food: a review and fuzzy model of contrafreeloading // Animal Behaviour. 1997. V. 53. No. 6. — PP. 1171–1191.

11. *Bean D., Mason G.J., Bateson M.* Contrafreeloading in starlings: testing the information hypothesis // *Behaviour*. 1999. V. 136. No. 10. — PP. 1267–1282.
12. *Жданов А.А.* Автономный искусственный интеллект. — М.: Бином, 2008.
13. *Непомнящих В.А., Осипова Е.А., Редько В.Г., Шарипова Т.И., Бесхлебнова Г.А.* Модель навигации животных в лабиринтах // XVI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика–2014» с международным участием: Сборник научных трудов. В 3-х частях. Часть I. — М.: НИЯУ МИФИ, 2014. — С. 110–117.
14. *Непомнящих В.А., Осипова Е.А., Редько В.Г., Шарипова Т.И., Бесхлебнова Г.А.* Модель накопления знаний животными — биологические предпосылки творческого поиска человеком // Шестая Международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов. — Калининград, 2014. — С. 443–444.
15. *Анохин П.К.* Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // *Принципы системной организации функций*. — М.: «Наука», 1973. — С. 5–61. Эта статья опубликована также в книге «От моделей поведения к искусственному интеллекту» (Под ред. Редько В.Г.). — М.: УРСС, 2006. — С. 9–60.
16. *Редько В.Г.* Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики. — М.: УРСС, 2005.
17. *Турчин В.Ф.* Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. — М.: Наука, 1993. (1-е изд.). — М.: ЭТС, 2000. (2-е изд.).
18. *Turchin V.F.* The Phenomenon of Science. A Cybernetic Approach to Human Evolution. — Columbia University Press, New York, 1977. См. также: <http://www.refal.ru/turchin/phenomenon/>

УДК: 16; 004.032.26

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ ПЕРКОЛЯЦИОННЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПОДХОДОВ

Жуков Д.О., Самойло И.В., Брукс Д.У., Ходжес В.В.

*Московский государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия
E-mail: zhukov_do@mirea.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы применения теории перколяции для оценки числа нейронных синаптических связей, достаточных для продуктивной интеллектуальной деятельности. Использование перколяционного подхода к описанию интеллектуальной деятельности человека может быть практически полезным для решения проблем построения эффективных моделей искусственных нейронных сетей; для развития чувствительных методов диагностики нейронных сетей мозга при аутизме и гиперактивности; а также для разработки систем информационной безопасности.

Ключевые слова: теория перколяции, структура сети нейронов, интеллект, синаптические связи.

MODELLING OF INTELLIGENCE ON THE BASIS OF PERCOLATIONAL AND STRUCTURAL APPROACHES

Zhukov D.O., Samoylo I.V., Brooks D.U., Hodges V.V.

*Moscow State Technical University of Radioengineering, Electronics
and Automation, Moscow, Russia
E-mail: zhukov_do@mirea.ru*

Abstract. The issue of application of the percolation theory for an assessment of number of the neural synoptic communications sufficient for productive intellectual activity are considered. Use of percolation approach to the description of intellectual activity of the person could be practically useful to the solution of problems of creation of effective models of artificial neural networks; for development of sensitive methods of diagnostics of neural networks of a brain at autism and a hyperactivity; and also for development of systems of information security.

Key words: theory of a percolation, of neurons network structure, intelligence, synoptic communications.

Введение

Малыш из двух мячей выбирает красный. Родители и сам ребёнок в восторге — выбор сделан правильно! И восторг здесь совершенно уместен: ведь для того, чтобы мячик оказался в руке ребёнка, мозг малыша должен был проделать сложнейшую интеллектуальную работу. Поэтому понятно, что обсуждая такой сложный и многозначный феномен как интеллект, невозможно не коснуться общих вопросов функционирования и строения человеческого мозга — нейронной сети, дарованной природой и, конечно же, родителями каждому новорожденному. Экспериментально установлено, что количество нейронных связей в коре головного мозга новорожденного совсем невелико — всего несколько процентов от числа связей в нейронной сети мозга взрослого человека. Но в процессе развития ребёнка число связей между нейронами головного мозга сверхпродуктивно растёт и достигает максимума к десяти месяцам. На последующих этапах развития человека происходит редукция его нейронной сети: количество синаптических связей уменьшается и затем стабилизируется [1]. Процесс отмирания и стабилизации синапсов, видимо, служит одним из основных механизмов, с помощью которых опыт изменяет структуру мозга в ходе его формирования [3–5]. Насколько же оправданным является процесс редукции связей между нейронами мозга? Какое количество синаптических связей между нейронами является достаточным для продуктивной интеллектуальной деятельности? Ответы на эти вопросы попытаемся найти с помощью методов численного моделирования на базе **перколяционной модели интеллектуальной деятельности человека**.

Но прежде необходимо рассмотреть основные принципы построения и функционирования нейронной сети головного мозга.

Согласно нейронной доктрине Кахаля, являющейся основой наших представлений о мозге, нейрон является основным структурным и функциональным элементом мозга. Дендриты нейрона служат для получения сигналов, а аксоны — для передачи сигналов другим нейронам. Передача сигнала осуществляется только на специальных участках — синапсах, каждый нейрон взаимодействует лишь с определенными нейронами. Важно учесть то, что в реальных биологических структурах имеется от 10 до 100 млрд. нейронов, каждый из которых имеет от 10 до 1000 связей с другими нервными клетками (**условие многосвязности**).

Теория организации нервной системы позволяет сделать вывод о том, что клетки мозга — нейроны группируются в очень сложную сетевую инфраструктуру, благодаря которой и осуществляется его работа. Функциональные особенности коры обуславливаются рас-

пределением нервных клеток (нейронов) и их связей по слоям и колонкам. На корковые нейроны возможна конвергенция (схождение) импульсов от различных органов чувств. Согласно современным представлениям, подобная конвергенция разнородных возбуждений — нейрофизиологический механизм интегративной деятельности головного мозга, т. е. анализа и синтеза ответной деятельности организма. Существенное значение имеет и то, что нейроны сведены в комплексы, по-видимому, реализующие результаты конвергенции возбуждений на отдельные нейроны.

Сложное взаимодействие всех частей мозга, в конечном счете, и определяет всё разнообразие поведения человека и его интеллектуальной деятельности.

Возможности мозга по обработке информации

Джон Гриффит [7], сделал приблизительный расчет, что если бы человек непрерывно запоминал информацию со скоростью 1 бит в секунду на протяжении 70 лет жизни, то в его памяти накопилось бы 10^{14} бит, что приблизительно эквивалентно количеству информации, заключенному в Британской энциклопедии. На самом деле каждую секунду в мозг человека поступает около 20 бит информации, и за 14 часов он может обработать 18 миллиардов битов. Причем для хранения такой информации достаточно только одной тысячной части всех нервных клеток мозга. Согласно различным оценкам, количество информации, которое может запомнить человек за всю жизнь, составляет до 10^{21} бит. Человек способен вспоминать нужную информацию за десятые доли секунды, для чего требуется скорость поиска около 50 миллиардов битов в секунду. Необходимо заметить, что обработка такого количества информации может обеспечиваться только за счет параллельной работы нервных структур (**имеющих с точки зрения хранения и поиска данных очень эффективную топологию**).

Формализованная структурная модель интеллектуальной деятельности

Характерной особенностью строения коры головного мозга является **ориентированное горизонтально-вертикальное распределение** составляющих её нервных клеток (нейронов) по слоям и колонкам; таким образом, корковая структура отличается пространственно-упорядоченным расположением функционирующих единиц и связей между ними.

Управление интеллектуальными процессами, так же, как и управление двигательными навыками, может осуществляться несколькими иерархически соподчиненными кольцами связанных нейронов, которые распределяют между собой роли по иерархии умения. Часть нейронов только намечает общие пути осуществления, а за детали исполнения отвечают следующие кольца нейронов. Однако нейроны могут взаимодействовать не только по вертикали, но и по горизонтали (образовывать горизонтальные кольца). Таким образом, взаимодействие может осуществляться по принципу разветвленной сети, в которой **траектории передачи нервных сигналов представляют собой петли**: один и тот же сигнал может несколько раз возвращаться к стартовой точке. Основным типом прямых и обратных связей новой коры являются вертикальные пучки волокон, приносящие информацию из подкорковых структур к коре и посылающие её от коры обратно. Наряду с вертикальными связями имеются внутрикортикальные — горизонтальные пучки ассоциативных волокон, проходящие на различных уровнях.

Совокупность нейронов, их связей и топология соединения при научении и хранении различных образов и объектов образуют некоторую подсеть узлов, отвечающих за реализовавший их процесс, а в дальнейшем — за распознавание данного процесса (или объекта).

Формализованная топологическая модель нейронной сети головного мозга может иметь вид, представленный на рисунке 1, дугообразные линии обозначают не пересекающиеся связи между удаленными нейронами, прямые отрезки — связи с близлежащими нервными клетками. Нейроны могут, иметь связи, как условно лежащие в одной плоскости (одном слое), так и вертикальные связи (обозначены на рис. 1 цифрами 1, 2, 3, 4, 5) между нервными клетками, принадлежащим разным слоям. Например, цепочка нейронов **a-c-d-e-n** на рис. 1 может входить в один из вертикальных слоев, а цепочка **o-i-p-s-m-k** в горизонтальный слой. **Очень важно, что один и тот же нейрон может одновременно принадлежать как различным горизонтальным, так и вертикальным слоям (а сами цепочки связанных нейронов можно условно назвать горизонтальными и вертикальными кольцами).**

Представленную на рисунке 1 структуру можно условно назвать случайной сетью с множеством связей между узлами (нейронами).

Проанализируем, в какой степени структура, изображенная на рис. 1 соответствует данным о структуре и работе мозга человека.

Скорость нервного импульса существенно меньше скорости передачи электрических сигналов по контактам, поэтому мозг практически любого человека проигрывает компьютерам по быстродейст-

вию, но значительно превосходит в интеллектуальной деятельности. Это достигается за счет **ассоциативности работы мозга** и практически **бесконечной степени распараллеливания процессов обработки информации**. Имея в распоряжении сеть, состоящую от 10 — до 100 млрд. нейронов с общим числом связей 10^{12} штук, её можно разделить на подсети (например, размером 10^4 – 10^6 узлов). Учитывая, что некоторые из нейронов или их группы могут входить в различные подсети, то число возможных комбинаций по самой грубой оценки может составить:

$$C_{10^4}^{10^{12}} = \frac{10^{12}!}{10^4!(10^{12}-10^4)!} \quad C_{10^6}^{10^{12}} = \frac{10^{12}!}{10^6!(10^{12}-10^6)!}$$

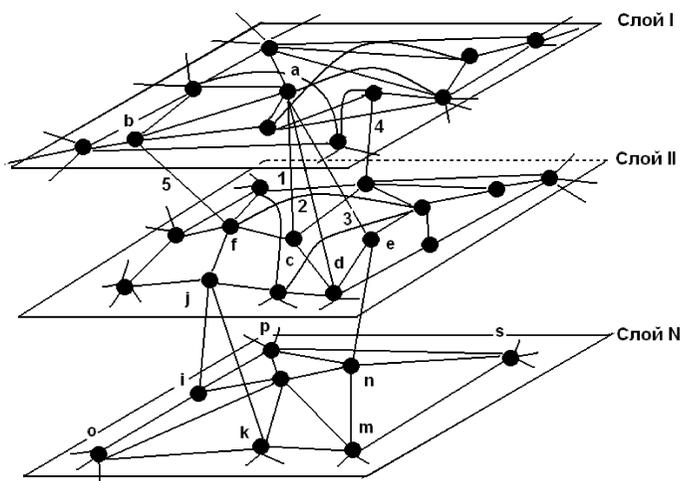


Рис. 1. Формализованная модель топологии мозга.

Каждую из таких структур (если говорить на языке информатики) можно считать отдельным процессором. В этом случае (при очень приблизительной оценке) получится порядка 10^{11} – 10^{12} параллельно работающих устройств, что практически недостижимо для компьютерной техники на основе полупроводников даже в отдаленном будущем. Для структуры, изображенной на рисунке 1, увеличение числа узлов и связей между ними должно приводить к увеличению числа возможных подсетей или, на языке информатики, параллельно работающих процессоров. Структура, изображенная на рис. 1 обладает не только многослойностью, но и тем свойством, что

между её узлами существует множество различных путей, а значит удаление её части (или оставление только небольшой части) при уменьшении размера не будет влиять на топологические свойства. Если работа сети определяется и топологическими свойствами, то уменьшение размера в качественном плане не повлияет на работу (количественно может ухудшиться точность распознавания, или увеличится время). Все это согласуется с данными о том, что локализация функций в первичных зонах мозга дублируется таким образом, что каждый самый маленький участок содержит сведения обо всём объекте.

Перколяционная модель интеллектуальной деятельности

Для распознавания образов в данной работе предлагается следующая модель. На вход в нейронную сеть подается входной сигнал, который сравнивается с ранее хранящимися в её подсетях образами. При этом могут возникать некоторые активные (или возбужденные) состояния нейронов. Если между входным и выходным слоями сети, в какой-либо из её подсетей, возникает неразорванная цепочка возбужденных нейронов, то хранящейся в данной подсети образ оказывается распознанным. В противном случае — нет, и тогда в нейронах, задействованных при распознавании, происходит синтез определенной величины концентрации РНК и белков, кодирующих информацию, и они создают ещё одну подсеть, но уже сохраняющую данный, новый образ, не удаляя старые. Число возможных создаваемых подсетей очень велико (порядка 10^{11}), и это позволяет хранить большое число различных образов. Кроме того, учитывая, что при распознавании процесс будет происходить параллельно во всех структурах, то скорость поиска и доступа к информации, несмотря на огромный объем хранящихся данных, должна быть приемлемо высокой.

Возникающий через активные клетки маршрут (их можно назвать узлами подсети) можно назвать протеканием или перколяцией. Для регулярных структур теория перколяции является хорошо разработанной областью. Однако структуры, изображенные на рисунке 1, имеют случайную нерегулярную топологию, и изучение в них перколяционных процессов является довольно сложной задачей, которую можно решить только методами численного моделирования.

С точки зрения математика, теорию перколяции следует отнести к теории вероятностей на графах. Имеется большое число монографий, посвященных как теоретическим, так и прикладным вопросам перколяции [8–10].

Для объяснения основных положений теории перколяции возьмём квадратную сеть и закрасим часть узлов черным цветом (см. рис. 2). Одним из вопросов, на которые может ответить теория перколяции — при какой доле n_c закрашенных узлов возникает их черная цепочка, соединяющая верхнюю и нижнюю стороны сетки (цепочка проводимости)? Для сетки конечного размера такие цепочки могут возникать при разных концентрациях (см. рис. 2). Однако если размер сетки L устремить к бесконечности, то критическая концентрация станет вполне определенной. Такую критическую концентрацию называют *порог перколяции*.

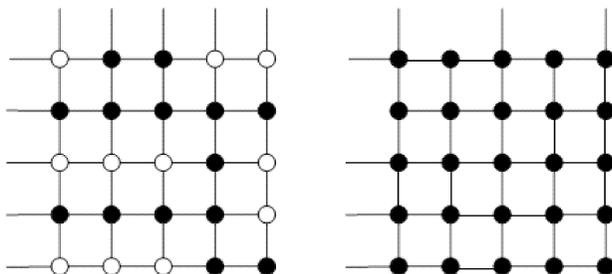


Рис. 2. Перколяция на квадратной решетке.

Квадратная сетка является только одной из возможных моделей. Можно рассматривать перколяцию на треугольной и шестиугольной сетках, деревьях, трехмерных решетках (например, кубической в пространстве с размерностью больше трёх). Сетка не обязательно должна быть регулярной, можно рассматривать процессы и на случайных решетках.

Рассмотрим перколяцию в случайных сетях с множеством путей между узлами, имеющими вид, представленный на рисунке 1. Выберем на противоположных слоях сети два произвольных узла **A** и **B** и начнем случайным образом активизировать отдельные остальные узлы. Очевидно, что если активизированных узлов будет много, то может возникнуть такая ситуация, при которой между двумя произвольно выбранными узлами **A** и **B** появится хотя бы один «открытый» путь (путь из активизированных узлов). Методами численного моделирования, с статистическим усреднением результатов по отдельным экспериментам, можно определить, при какой доле активизированных узлов (порог перколяции) в сети появляется проводимость между узлами **A** и **B**, и как она зависит от среднего числа связей, приходящегося на один узел. В таблице 1 представлены результаты численного моделирования нахождения порога перколяции для случайных сетей

с множеством путей между узлами (см. рис. 1) и различным средним числом связей на один узел.

Таблица 1.

Тип сети	Среднее число связей на один узел в сети конечного размера с данной структурой	Доля активированных узлов, при которой в сети появляется проводимость (n_c - порог перколяции)
Случайная сеть с множеством путей между узлами	2,36	0,515
	2,82	0,425
	3,29	0,365
	4,70	0,270
	4,75	0,250
	6,15	0,150
	6,17	0,185
	6,75	0,175
	9,41	0,170
	10,02	0,150
	10,31	0,130
	10,69	0,135
	11,07	0,115
13,10	0,115	

Поскольку затраты времени и вычислительных ресурсов при увеличении среднего числа связей на один узел сети существенно возрастают, то при численном моделировании была выбрана область от 2,5 до 15 связей на узел. На рисунке 3 представлена графическая зависимость приведенных в таблице 1 результатов.

Рисунок 3 показывает, что с ростом среднего числа связей, приходящихся на один узел сети порог перколяции начинает монотонно стремиться к своему некоторому минимальному значению. Тем самым, полученные результаты говорят о том, что нет необходимости проводить численное моделирование при больших значениях среднего числа связей на узел, а можно линеаризовать результаты и экстраполировать их в область больших значений.

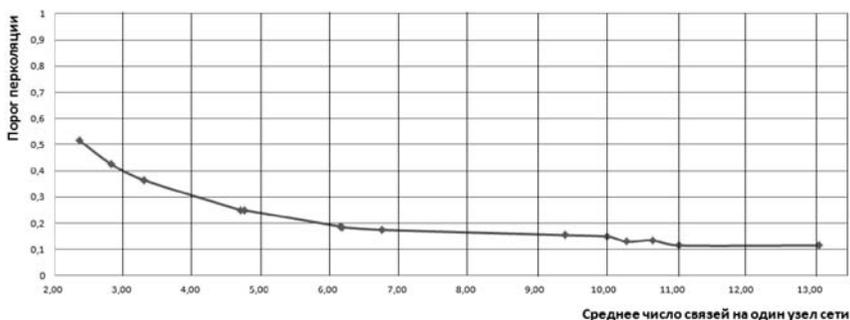


Рис. 3. Зависимость величины порога перколяции в случайной сети от среднего числа связей на один её узел.

Поскольку графический вид зависимости на рисунке 3 напоминает экспоненту, то её можно попробовать описать функцией вида:

$P(x) = P_0 e^{-z}$, где $P(x)$ — величина порога перколяции при среднем числе связей на узел равном некоторому значению x , а $z = 1/x$, P_0 — величина порога перколяции при бесконечно большом числе связей на один узел. Как показывает рисунок 4, представленные в таблице 1 данные хорошо линеаризуются в координатах: $\ln P(x)$ — $z = 1/x$ (натуральный логарифм порога перколяции — величина обратная среднему числу связей x , приходящихся на один узел), что подтверждает возможность использования функции вида:

$$P(x) = P_0 e^{-z}.$$



Рис. 4. Зависимость логарифма величины порога перколяции в случайной сети от величины обратной среднему числу связей на один её узел.

Точки на рисунке 4 обозначают экспериментальные данные, а сплошная линия соответствует линейной зависимости:

$y = 4,2882z - 2,3766$, с очень высоким значением коэффициента корреляции, равным 0,98.

При $z=1/x=0$ (соответствует случаю $x=\infty$) получаем: $y=lnP_0 = -2,15$, а величина самого порога перколяции при бесконечно большом числе связей на узел P_0 будет равна 0,093. Таким образом, для случайной сети с бесконечно большим числом связей на один узел достаточно иметь долю активированных нейронов равную 0,093 от общего числа, чтобы возникла проводящая цепочка узлов и сеть распознала представленный образ. При среднем числе связей равном 100 — порог перколяции будет равен 0,097, а при 10 — 0,143.

Полученные результаты показывают, что для случайной сети существенное увеличение среднего числа связей больше десяти на один узел практически не изменяет порога перколяции, и с точки зрения затрат биологических ресурсов является для нейронных структур маловыгодным, т.е. редукция нейросинаптической избыточности сети является неизбежным этапом формирования нейронной сети головного мозга человека.

Использование перколяционного подхода может быть практически полезным при решении проблем разработки более эффективных моделей искусственных нейронных сетей, при разработке чувствительных методов диагностики нейронных сетей мозга при аутизме и гиперактивности; при проектировании систем защиты информации, способных выявлять ложные узлы, с помощью которых возможна организация утечки или подмены информации.

Интересным возможным направлением применения перколяционной модели считаем её использование в области создания кроссбар-наноконпьютеров, при проектировании архитектуры которых закладывается значительная избыточность межсоединений проводящих нанорешеток. Редукция сети на основе перколяционного подхода позволит выстроить оптимальную архитектуру ключей и повысить дефектоустойчивость системы.

Литература:

1. *Stroganova T.A., Tcetlin M.M.* Psychophysiological study of temperament in infants suffered early visual deprivation. *Human Physiology* 1998; 24(3): 27–33.
2. *Rose S.P.R.* The Making Of Memory: From Molecules to Mind, 1992, ISBN 0-593-01990-3.

3. Changeaux J.P., Danchin A. Selective stabilization of developing synapses as a mechanism for the specification of neuronal networks. / *Nature* 264, 1976. — Pp. 705–712.
4. *Changeaux J.P.* Neuronal Man, Pantheon, 1985. G. Edelman. Neural Darwinism: The theory of neuronal group selection. // Basic Books, 1987.
5. *Hebb D.O.* The Organization of Behavior. / Wiley, 1949. — Pp. 62–63.
6. *Stauffer D., Aharony A.* Introduction to Percolation Theory. — London: Tailor & Francis, — 1992.
7. *Grimmet G.* Percolation Berlin: Springer-Verlag, — 1999.
8. *Kesten H.* Percolation theory for mathematicians, Birkhauser — 1982.
9. *Sahimi M.* Applications of Percolation Theory. London: Tailor & Francis, — 1992.

УДК 004.8

УПРАВЛЕНИЕ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Соловьев И.В., Цветков В.Я.

*Московский государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия
E-mail: cvj2@mail.ru*

Аннотация. В статье описываются особенности интеллектуальных распределенных систем. Раскрывается понятие распределенной системы и распределенной информационной системы. Дается классификация распределенных систем, описываются требования, предъявляемые к распределенным системам, а также проблемы, возникающие при создании и эксплуатации интеллектуальных распределенных систем.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, распределенные интеллектуальные системы, информационное пространство, информационное поле, информационная среда, распределенные информационные системы, управление, интеллектуальные транспортные системы.

CONTROL IN DISTRIBUTED INTELLIGENT SYSTEMS

Soloviev I.V., Tsvetkov V.Ya.

*Moscow State Technical University of Radioengineering,
Electronics and Automation, Moscow, Russia
E-mail: cvj2@mail.ru*

Abstract. This article describes the features of distributed intelligent systems. The notions of distributed systems and distributed information systems are discussed. A classification of a distributed system is provided. Requirements applied to distributed systems are specified. The article describes the problems evolving in the process of establishment and operation of intelligent distributed systems

Key words: intelligent systems, distributed intelligent systems, information space, information field, information environment, distributed information systems, management, intelligent transport systems

Введение

В современном обществе существует необходимость в повышении качества и скорости обработки в распределенных системах [1]. В связи с этим возрастает значение распределенных систем хранения [2] и обработки данных [3], как средства решения этой проблемы.

В аспекте тематики данной статьи следует отметить, что речь идет о трех типах распределенных систем: физическая распределенная система подвижных объектов; информационная распределенная система; интеллектуальная распределенная система. Задача ставится следующим образом: на основе ресурсов распределенной информационной коммуникационной системы (РИКС) управлять физической распределенной системой (ФРС) с использованием интеллектуальной распределенной системы (ИнРС). Одним из примеров такой интеллектуальной системы является интеллектуальная транспортная система (ИТС)

Задачей любой распределенной коммуникационной системы является анализ свойств полученных данных, которые, в силу ряда причин, не могут быть оценены на одном узле. Для достижения поставленной цели и ускорения времени обработки необходимо на первом этапе разослать данные на распределённые узлы системы, а на втором — собрать данные из распределенных узлов и агрегировать эти данные в общее глобальное представление. Это является сложной задачей из-за часто встречающегося в таких типах задач динамики, что накладывает очень частые изменения в локальные значения, которые влияют на общие глобальные свойства всей задачи. Создание эффективных и адаптивных распределенных систем позволяет значительно ускорить скорость обработки данных. С целью рассмотрения данного вопроса проведём анализ проблем возникающих в ходе проектирования и эксплуатации распределённых интеллектуальных систем.

Анализ распределенных систем

На сегодняшний момент в литературе существует большое количество определений понятия «распределённая система». Наиболее полное определение предложил AS Tanenbaum [4]: «Распределенная система (РС) — это набор независимых компьютеров, который воспринимается его пользователями как единственная последовательная система.» Другое определение предложено в работе [5]: Распределенными системами называются программно-аппаратные системы, в которых исполнение операций (действий, вычислений),

необходимых для обеспечения целевой функциональности системы, распределено (физически или логически) между разными исполнителями. В вычислительной сфере под РС в нашем исследовании будем понимать программно–аппаратную систему, созданную для конкретного практического применения, функционал которой распределён на различных узлах.

Классифицировать распределённые системы можно по различным признакам: по количеству элементов в системе, по уровню организации распределённых систем, по типу предоставляемых ресурсов, а также ряду других признаков. По типу предоставляемых ресурсов различают:

- распределённые вычислительные системы (Computational Grid)
- распределённые информационные системы (Data Grid)
- распределённые интеллектуальные системы

Основная характеристика вычислительных систем (Computational Grid) заключается в том, что в качестве основного ресурса предоставляется вычислительная мощность всей системы. Основное направление развития систем подобного типа заключается в наращивании вычислительных мощностей системы, посредством увеличения числа вычислительных узлов. Примером распределённых вычислительных систем являются кластеры.

Распределённые информационные системы (Data Grid) предоставляют вычислительные ресурсы для обработки больших объёмов данных, для задач, не требующих больших вычислительных ресурсов.

Распределённые интеллектуальные системы включают в свой состав коммуникационные системы со всеми их проблемами и системы позиционирования физических объектов

По количеству элементов в системе [6] различают следующие распределённые системы: кластер, распределённая система корпоративного уровня, глобальная система. Распределённая система является кластером, если общее количество элементов не превышает нескольких десятков. Распределённая система корпоративного уровня содержит в своём составе уже сотни, а в некоторых случаях, и тысячи элементов. Глобальной системой называется распределённая система с количеством элементов, входящих в её состав, более 1000. При этом, зачастую, элементы таких систем глобально распределены. Примером глобальной распределённой сети является ГНСС, где предоставляемым ресурсом является навигационное поле.

Основными требованиями, предъявляемыми к распределённым системам, являются: прозрачность, открытость системы, безо-

пасность, масштабируемость РС, надёжность. Рассмотрим каждую характеристику подробнее.

Прозрачность распределённой системы. Прозрачность, в общем случае, заключается в том, что распределённые системы должны быть восприняты пользователями системы как однородный объект, а не как набор автономных объектов, которые взаимодействуют между собой. Проектирование распределённой системы является сложной задачей, и соблюдение необходимой прозрачности является необходимым условием функционирования системы. Существуют различные виды прозрачности [7].

Прозрачность местоположения. В распределённых системах прозрачность местоположения заключается в том, что пользователь не должен знать, где расположены необходимые ему ресурсы. Файлы могут перемещаться на различные узлы распределённой системы. Например, если на узле РС произошёл сбой, и данные были восстановлены на другом узле РС, пользователь не должен замечать эти перемещения. В распределённых информационных файловых системах пользователь должен видеть лишь единое файловое пространство, при этом данные могут располагаться физически на разных серверах.

Прозрачность доступа. В распределённых системах наиболее важную роль играет принцип прозрачности доступа. Прозрачность в данном случае заключается в обеспечении сокрытия различий доступа и предоставления данных.

Прозрачность параллелизма доступа. Различные пользователи распределённых систем должны иметь возможность параллельного доступа к общим данным. При этом необходимо обеспечить параллельное совместное использование ресурсов системы, а соответственно, обеспечить сокрытие факта совместного использования ресурсов.

Прозрачность масштабируемости распределённой системы. Масштабируемость распределённой системы является одной из важнейших характеристик распределённых систем. До недавнего времени основной подход, позволяющий значительно увеличить мощность кластеров, заключался в наращивании различных ресурсов системы, к примеру, оперативной памяти, количества и объёма жёстких дисков. Данный метод, в ряде случаев, является неэффективным. В частности, в силу ограниченности проектного решения, наращивание вычислительных мощностей не всегда возможно. Но не только ограниченность проектного решения является сдерживающим фактором, обеспечивающим невозможность масштабируемости системы. В программное обеспечение, которое осуществляет взаимодействие всех компонентов системы с операционной системой, зачастую заложено ограничение на общее количество вычислительных узлов системы.

Прозрачность репликации. В целях обеспечения сохранности данных, особенно на распределённых файловых системах, необходимо обеспечить репликацию данных. Пользователю не должно быть известно, что репликация данных существует. Для сокрытия данного фактора, необходимо, чтобы у предоставляемых данных или ресурсов, были одинаковые имена.

Открытость системы. В отличие от ранних распределённых систем, которые по своей сути были ограниченными и закрытыми, так как они создавались в основном в пределах отдельных организаций и для решения конкретных задач, современные распределённые системы создаются всё более открытыми. Применение принципа открытости к распределённым системам стало возможным благодаря развитию линий передачи данных, увеличению производительности процессоров, а также общему развитию информационных технологий. Под открытостью распределённых систем понимается возможность взаимодействия с другими открытыми системами. Открытые системы должны иметь следующие характеристики:

- РС должны соответствовать четко определенным интерфейсам.
- Системы, входящие в состав РС, должны легко взаимодействовать между собой.
- Системы должны обеспечивать переносимость приложений.

Открытость системы может быть достигнута с помощью языков программирования, аппаратных платформ, программного обеспечения.

Безопасность. Особое место в современных распределённых системах занимает их безопасность. Безопасность РС является, в общем случае, совокупностью 3 факторов [8]:

- обеспечение конфиденциальности данных и ресурсов;
- обеспечение конфиденциальности доступа к ресурсам для множества пользователей;
- обеспечение целостности ресурсов и данных.

Необходимость создания распределённых систем, которые обеспечивают необходимую безопасность данных и всей структуры РС, возникает повсеместно. Многие вопросы безопасности могут быть решены на уровне отдельных узлов РС, например, путём установки фаерволов и антивирусного ПО на отдельные узлы системы, введении политики аутентификации пользователей и другими методами. Но в силу особенностей архитектуры большинства РС, данный подход не всегда является эффективным. Программное обеспечение не всегда может обеспечить необходимую конфиденциальность данных в распределённой системе. Например, программное обеспечение не всегда может полноценную защиту от MITM и DDOS

атак на распределённую сеть. Зачастую методы защиты от подобных атак не являются приемлемыми для узлов вычислительной сети. Важным показателем, при организации защиты РС, является уровень доступности системы. Уровень доступности распределённой системы определяется не только доступностью ресурса в момент времени t , но и принципами организации защиты РС, так как большинство программных средств, обеспечивающие защиту от атак, направлены на отказ в обслуживании. Большое внимание данному вопросу уделяется многими производителями антивирусного ПО.

Надёжность РС. В связи с появлением новых методов и алгоритмов, требовательных к вычислительным ресурсам и, самое главное, к ресурсам времени, необходимость в доступности распределённых систем в момент времени t становится крайне актуальной. Основным показателем, определяющим надёжность всей РС, является отказоустойчивость. Отказоустойчивость — это важнейшее свойство вычислительной системы, которое заключается в возможности продолжения действий, заданных программой, после возникновения неисправностей.

Проблемы эксплуатации распределённых систем

Основными проблемами распределённых систем по сравнению с традиционными системами являются:

- проблемы администрирования коммуникационной системы;
- проблемы ограниченности масштабируемости.

Проблемы администрирования системы включают проблемы балансирования нагрузки на узлы системы и проблемы восстановления данных в случае возникновения ошибок. Фрагментация ресурсов в распределённых системах предписывает необходимость создания гибких настраиваемых средств администрирования. Так как в глобально распределённых системах администрирование должно происходить в автоматическом режиме, то в связи с этим возникают следующие основные проблемы администрирования распределённых систем:

- балансировка нагрузки на узлы системы;
- восстановление данных в случае возникновения ошибки;
- сбор статистики с узлов системы;
- обновление программного обеспечения на узлах системы в автоматическом режиме.

Данный список является обобщённым, т.е. для каждой конкретной РС возможно возникновение проблем, которые не описаны в данной работе. Но данные проблемы являются наиболее часто

встречающимися на практике и заслуживают особого внимания при проектировании РС. Последние две проблемы хорошо изучены, и на рынке программного обеспечения распределенных систем существует множество разработанных программных средств, которые обеспечивают как сбор статистики, так и обновление программного обеспечения. Научный же интерес представляют методы балансирования нагрузки на узлы системы и методы восстановления данных в случае возникновения ошибок. В силу специфики РС, а также гетерогенности оборудования и архитектуры РС, не существует единого метода проектирования, который обеспечивал бы решение этих проблем.

Проблемы балансирования нагрузки. Важной проблемой при проектировании РС является обеспечение эффективной балансировки нагрузки на узлы системы. Правильно выбранная стратегия балансировки нагрузки оказывает решающее влияние на общую эффективность и скорость работы распределённой системы. На сегодняшний момент существует множество подходов [9, 10] к решению данной проблемы.

В общем случае можно выделить обобщённую классификацию методов балансировки загрузки вычислительных узлов. По характеру распределения нагрузки на вычислительные узлы различают: динамическую балансировку (перераспределение); статическую балансировку.

Статическая балансировка, зачастую, выполняется в результате априорного анализа. При распределении ресурсов по вычислительным узлам анализируется модель распределённой системы, с целью выявления наилучшей стратегии балансировки. При этом необходимо учитывать структуру РС, а также конфигурацию вычислительных узлов. Основным недостатком данного метода балансирования нагрузки заключается в необходимости ассоциации узлов с различной конфигурацией оборудования с вычислительной сложностью задачи, что не всегда представляется возможным.

Динамическая балансировка распределённой системы заключается в адаптации нагрузки на узлы распределённой системы в ходе работы, что в свою очередь позволяет эффективнее использовать ресурсы сети. Необходимость динамической балансировки возникает в том случае, когда не возможно изначально априорно предположить общую загрузку сети. Такие ситуации наиболее часто возникают, например, в задачах математического моделирования, когда в ходе вычислений на каждой итерации, сложность вычисления повышается и, соответственно, общее время вычислений также увеличивается. Также динамическая балансировка позволяет использовать

программное обеспечение, которое будет инвариантно к архитектуре распределённой системы.

Проблемы восстановления данных в случае возникновения ошибок. В ходе эксплуатации распределённых систем наиболее часто возникает проблема отслеживания сбоев и последующее восстановление данных. Данная ситуация может возникнуть, например, в ходе сбоя питания одного из узлов РС. Автоматическое восстановление данных является сложной задачей, которая включает в себя множество проблем. В ходе восстановления необходимо выяснить характер возникшей ошибки, классифицировать её и в автоматическом режиме произвести восстановление всех данных. При этом должна быть сохранена не только вся целостность связанных данных, но и доступность остальных данных, так как восстановление должно происходить без блокирования основных ресурсов на чтение-запись, т.е. распределённая система должна функционировать без остановки. На сегодняшний момент существует множество подходов к решению данной проблемы. Например, одним из методов восстановления в информационных распределённых системах (распределённых СУБД) является использование так называемого журнала транзакций, в котором хранится вся информация обо всех изменениях, произошедших в базе данных. Сложность в данном случае заключается в правильной классификации ошибок и правильности применения методов восстановления данных в автоматическом режиме.

Проблемы ограниченности масштабируемости. Масштабируемость распределённых систем — одна из первоочередных задач при проектировании РС. Распределённые системы позволили избежать главного недостатка централизованных систем — ограниченности наращивания вычислительных мощностей системы. Существуют три основных показателя масштабируемости [11] системы:

- масштабируемость РС по отношению к её размеру. Система считается масштабируемой по отношению к её размеру, если она обеспечивает простоту подключения к ней новых узлов.
- Географическая масштабируемость. Система считается географически масштабируемой, если к её сети возможно подключение новых узлов, без привязки к конкретной географической зоне (страна, город, дата — центр и т.д.), то есть глобально распределённых узлов.
- Масштабируемость управления. Система считается масштабируемой в плане управления ресурсами, если при росте общего количества узлов системы, администрирование системы не усложняется.

При решении задачи масштабируемости системы необходимо решить множество проблем. Выделим основные проблемы масшта-

бируемости распределённых систем. Проблема увеличения количества узлов системы, что не всегда предоставляется возможным, в связи с ограниченностью служб, алгоритмов, так как зачастую многие службы настроены на использование конкретного количества оборудования, например, на использование только одного конкретного сервера, конкретной архитектуры. Мы сталкиваемся с проблемой централизации как ресурсов, так и служб.

Проблема ограниченности возможностей сервера, который осуществляет агрегирование данных, собранных с узлов системы в общее глобальное представление.

Проблема ограниченности сетей передачи данных. При географической масштабируемости узлы распределённой системы могут находиться в географически отдалённых точках мира, соответственно, при проектировании и эксплуатации РС мы сталкиваемся с проблемами надёжности сетей передачи данных. При низких скоростях передачи данных возможно снижение общей надёжности и производительности РС.

Проблема ограниченности алгоритмов обработки данных. Необходимо использовать методы и алгоритмы сбора данных с узлов системы, которые минимально перегружают коммуникационную сеть.

Среда функционирования интеллектуальных распределённых систем

Для функционирования ИТС необходимо позиционирование объектов управления в реальном пространстве. Эта задача решается созданием информационного пространства, информационного поля и информационной среды.

Информационное пространство. Пространство является одной из базовых категорий физики и философии. Это понятие используется в широком (глобальном) и узком значении, в определенном направлении (информационное пространство) или при решении класса задач (гильбертово пространство). Информационное пространство может быть естественным и искусственным. Естественное информационное пространство отражает внешний мир и служит источником информации и знаний для человека. Оно существует независимо от человека и содержит описания окружающего мира. Однако познание этого пространства осуществляется на основе инструментария, которым владеет человек. По мере развития науки и техники инструментарий совершенствуется. Это расширяет естественное информационное пространство как источник познания окружающего мира.

Искусственное информационное пространство создается человеком на основе знаний, теорий, моделей, систем и опыта. Искусственное информационное пространство, с одной стороны, является некой объяснительной моделью, с другой стороны, оно служит инструментом воздействия на окружающий мир. Искусственное информационное пространство создается на основе информации, которой располагает человек и поэтому является результатом информатизации общества [12, 20].

Человечество с древних времен получало знания в информационном пространстве. Современное глобальное информационное пространство, во многих странах с высоким уровнем информатизации [13, 20], имеет свои более мелкие национальные информационные пространства и отраслевые информационные пространства. Отражением естественного и искусственного информационного пространства является наличие естественной и искусственной классификации [14, 15].

Для любого государства обязательным компонентом является единое информационное пространство. Оно служит средством управления и воздействия на общество. Оно включает в себя более мелкие по масштабу пространства: отраслевые, региональные, отдельного предприятия и т.д. Единое информационное пространство является системообразующим признаком любого государства [15]. Единое информационное пространство должно опережать создание единого экономического и правового пространства, так же, как оно должно опережать принятие решений в разных социальных сферах.

Искусственное информационное пространство [16] можно рассматривать как антропогенную систему, содержащая связанные информационную сетью элементы пространства; информационные ресурсы, технологии их обмена и использования; хранилища информационных ресурсов; систему согласованных стандартов информационного обмена [17] и технологий. Примером искусственного информационного пространства является координатное пространство, которое задается человеком на основе вводимых им координатных систем и произвольно выбираемых точек отсчета для этих систем.

В информационном пространстве, описывающем реальное пространство, может существовать специфическое отношение локализации. В информационном пространстве, описывающем семантическое пространство, может существовать специфическое отношение оппозиции [18].

Информационные отношения являются обязательным фактором информационного пространства. Они могут существовать в виде явной формы: иерархия, часть и целое, или в неявной форме, например, корреляты [19]. Особенностью информационного пространства является то, что оно может иметь разные масштабы.

Информационное поле. Термин «поле» используют во многих научных направлениях для описания свойств реального пространства и реального мира. Поле, как правило, связывают с непрерывной или дискретной совокупностью величин, отражающих свойства или одно свойство окружающего мира. Иногда используют комбинацию этих совокупностей как дискретно-непрерывную. Примером дискретно-непрерывной совокупности являются топологические поля. Широко использование понятия поля во многих науках позволяет перенести это понятие в области наук об информации.

Информационное поле вложено в информационное пространство. Пространство является пассивным отображением окружающего мира. Поле содержит некие количественные и качественные характеристики пространства. На рис. 1 дана схема отношений информационного пространства, информационного поля и информационной среды. Цифрами на рисунке обозначены: 1 — информационное пространство. 2 — информационное поле. 3 — информационная среда. 4 — объект кружения информационной среды.

В соответствии со схемой на рисунке 1 информационное поле (2) вложено в информационное пространство (1) и наполняет его количественными характеристиками. При этом следует подчеркнуть, что информационных полей может быть много и каждое может быть в ограниченной части информационного пространства. Информационная среда в свою очередь, вложена в информационное пространство и информационное поле и может рассматриваться как их подмножество. Для информационной среды характерным является наличие объекта окружения, информационное взаимодействие [21] с которым определяет границы информационной среды.

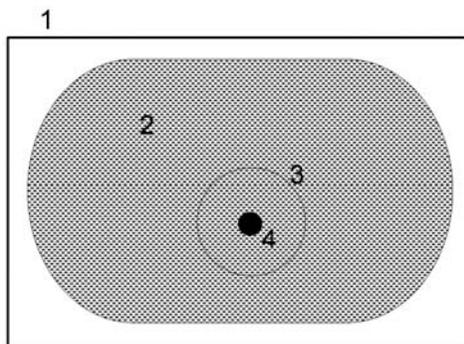


Рис. 1. Структурная вложенность информационного пространства, информационного поля, информационной среды и объекта управления.

Деление информационного пространства на естественное и искусственное приводит к делению информационного поля: на естественное и искусственное [16]. Естественное информационное поле отражает объективно существующие свойства окружающего мира. Искусственное информационное поле является моделью создаваемой человеком.

Информационное поле характеризуется функциональной величиной, характеризующей количественно точки пространства [22]. В физике эту величину называли полевой переменной и этот термин закрепился как характеристика поля, хотя по существу эта функция координат пространства. Информационное поле [15] — поле, в каждой точке которого определен один или несколько информационно определяемых параметров.

В информационных полях «параметр поля» может быть не только непрерывной функцией, но и дискретным индикатором. В связи с широким распространением виртуального моделирования появился термин «виртуальное информационное поле» [22].

Особенностью любого информационного поля является использование информационных отношений для определения полевой переменной или переменных. В семантических полях роль отношений выполняет референция и геореференция [23]

Информационная среда. Информационное пространство можно рассматривать как глобальное описание, в которое вложено информационное поле. Информационная среда вложена и в то и в другое, но является меньшим объектом по масштабу (рис. 1).

Информационное пространство и поле является независимой характеристикой относительно объектов, которые в них находятся. Информационная среда всегда связана с неким объектом, относительно которого эта среда рассматривается. Многозначность понятия информационная среда приводит к разным определениям, обусловленные разными аспектами рассмотрения.

Аспект рассмотрения объекта, связанного с информационной средой позволяет определить информационную среду как некое окружение объекта или совокупности исследуемых объектов.

В аспекте информационного пространства, информационная среда — это ограниченная часть информационного пространства, которая окружает объект исследования. Можно сказать, что информационная среда — это часть информационного пространства, редуцированная к объекту исследования. То есть понятие информационное среды подразумевает не только пространство, но и некий заданный объект исследования, который оно окружает и на который оказывает влияние. С этих позиций информационная среда — эта часть пространства, которое оказывает существенное влияние на определенный для этой среды объект исследования.

Используя понятие информационного взаимодействия [21] и информационного поля [15] можно дать еще одно определение информационной среде. Информационная среда — часть информационного поля, для которой существенным являются информационные взаимодействия, влияющие на объект исследования.

Информационная среда всегда искусственная. Она создается человеком для решения его задач. Поэтому она может создаваться как сложная система. Такая антропогенная система может использоваться как система поддержки или как подсистема управления. При создании информационной среды как обеспечивающей подсистемы при пространственном управлении объектом необходимо выполнение следующих условий, которые делятся на пространственные и полевые.

Функционирование интеллектуальной распределенной системы

Для иллюстрации механизма функционирования интеллектуальной распределенной системы рассмотрим схему, приведенную на рис. 2

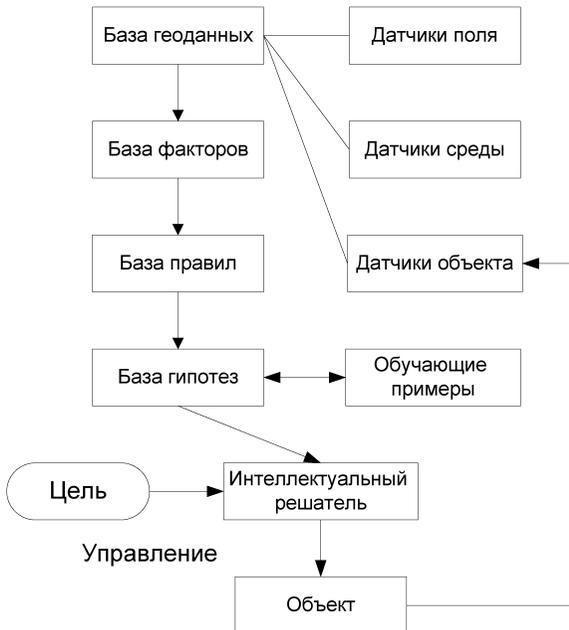


Рис. 2. Интеллектуальная распределенная система управления пространственным объектом.

Система стремится достичь целей, поставленных лицом, принимающим решение (ЛПР). На рисунке представлен узел системы, с помощью которого он «видит» цели. Технически этот узел может быть выполнен по-разному: от указания через компьютерную (спутниковую) систему до простого восприятия системой голосовой команды человека.

При движении к цели система должна «обойти» препятствия, то есть учесть различные антропогенные и природные явления, препятствующие целевому перемещению объекта управления. Для обнаружения препятствий в системе установлена совокупность датчиков объекта, среды и поля, которая определяет с некоторой точностью характер и силу внутренних и внешних воздействий на объект исследования.

Особенности данной схемы в том, что: цели могут изменяться, они не фиксированы; решения в системе принимаются непрерывно по обновляемым данным и в реальном масштабе времени.

В обучаемой подсистеме накапливаются данные и факты об исследуемом объекте и возможные прецеденты. Они сопоставляются в интеллектуальном решателе, ориентируясь на обучающие примеры.

В интеллектуальном решателе предусмотрена статистическая обработка данных, которая позволяет обнаружить скрытые закономерности развития движения объектов. В содержательном плане функционирование интеллектуального решателя может основываться на различных инструментальных средствах: теория нечетких множеств, теория распознавания образов, нейро-лингвистическое моделирование, нейронные сети и др.

В основе интеллектуальной части системы управления предлагается использовать базы геоданных, базы факторов, базы правил и базы гипотез.

В БЗ заложена логика экспертов и соответствующие схемы вывода диагностических сообщений. Аргументами правил являются параметры движения. Таким образом, ИнРС на основании произведенных расчетов будет генерировать управляющие воздействия.

Движение объектов сопровождается технологией их мониторинга. Мониторинг для этой цели построен по двум технологиям: индикативный и репрезентативный. Репрезентативность означает, что объект обследуется полностью во взаимодействии всех факторов внутренней и внешней среды, с учетом особенностей его движения. Репрезентативный мониторинг требует много времени. Поэтому он дополняется индикативным мониторингом который выдает оппозиционные параметры допустимо — недопустимо. Измерение и оценка индикаторов и составляет суть индикативного мониторинга. Та-

ким образом, общая методика мониторинга будет состоять из двух этапов. На первом этапе осуществляется индикативный мониторинг, определяющий общую ситуацию. Затем включается второй этап — репрезентативного мониторинга. Выводом из анализа интеллектуальной системы, представленным на рисунке 2, может служить следующее предложение.

Механизм реализации целей ЛПР в отношении развития информационно-аналитической ситуации аналогичен поиску цели роботом-манипулятором в неопределенной среде. Теоретические и практические вопросы функционирования такого робота уже отлажены. Описанная процедура показывает, что не существует принципиальных ограничений для создания интеллектуальной системы мониторинга и управления распределенными объектами.

С целью получения количественной оценки состояния подвижного объекта предлагается ввести ряд численных параметров, характеризующих объект исследования.

1. Численные значения параметров, характеризующих информационное состояние и информационное окружение объекта управления. В общем же случае состояние объекта задается вектором:

$$\vec{O} = (\vec{o}_1, \vec{o}_2, \dots, \vec{o}_n). \quad (1)$$

Компоненты вектора \vec{O} находятся измерением соответствующих параметров. Они и идентифицируют текущее состояние объекта исследования.

2. Функцию J , характеризующую зависимость вероятности возникновения нештатной ситуации от значений параметров вектора (1):

$$J = f(X). \quad (2)$$

Функция J определяется на основе использования различных методов моделирования: физического, статистического, имитационного и экспертного, или их комбинацией. Система предусматривает два вида обучения:

- начальное обучение (лабораторное), заключающееся в расчете функции (2) по априорной информации об объекте, осуществляемое на этапе синтеза системы до запуска ее в эксплуатацию;
- систематическую коррекцию параметров модели (коэффициентов соотношения (2)) по результатам работы системы.

Введем на основе опыта и интуиции ЛПР, а также данных натуральных экспериментов два пороговых значения функции J : J_1 и J_2 .

Если $J < J_1$, то соответствующее множество состояний объекта S_0 (см. рис. 3.3), при котором выполняется это неравенство, не вызывает опасений.

Если выполняется соотношение $J_1 \leq J \leq J_2$, то есть опасность возникновения нештатной ситуации, и необходим комплекс мер по ее предупреждению. Это множество допустимых, но требующих внимания и управленческих действий, состояний S_D .

И, наконец, если выполняется неравенство $J \geq J_2$, то имеем критические ситуации, множество которых обозначено S_K . На основании выше сказанного можно представить работу ИнРС следующим образом.

1. На основании предварительного обследования объекта формируется вектор X и рассчитывается приближенное выражение для функции $J = f(X)$.

2. Подсистема сбора и первичной обработки информации БСС осуществляет постоянный мониторинг параметров \hat{O} — соотношение (3.1).

3. По каналам радиосвязи полученная информация передается в блок принятия решений (БПР).

4. В БПР осуществляются:

- идентификация состояния объекта (выявляется принадлежность текущего состояния к одному из заданных множеств S_0, S_D, S_K);
- выдача информации в интеллектуальный решатель;
- документирование динамики состояния объекта, отражающее его поведение в зависимости от различных состояний среды.

Система, с целью обеспечения надежности и безопасности функционирования, предусматривает резервирование технических и программных средств (датчиков, каналов связи, центрального сервера системы) и тестовую проверку исправности элементов и всей системы в целом.

Основная цель ИнРС обеспечить оптимальное функционирование подвижных объектов. Для достижения этой цели основой системы управления рисками является принципы комплексности. Принцип комплексности подразумевает непрерывности получения информации об объекте, то есть постоянный мониторинг состояния объектов В задачи мониторинга входит процесс принятия и выполнения управленческих решений, направленных на снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата и минимизацию возможных потерь. Данный подход в ИнРС реализуется на основе использования интеллектуальных алгоритмов. При обработке данных предлагается использовать следующие алгоритмы:

- алгоритмы корреляционного анализа взаимосвязей между различными атрибутами в наборе данных;

- алгоритмы кластеризации, разделяющие исходные данные на кластеры элементов, имеющих схожие свойства;
- алгоритмы анализа последовательностей, обобщающие часто встречающиеся последовательности в данных;
- алгоритмы прогнозирования одной или нескольких дискретных переменных на основе других атрибутов в наборе данных.

Еще на этапе сбора информации об объекте проводится интеллектуализация результатов измерений благодаря аналитическому подходу при создании алгоритмов оптимального получения и обработки данных на основе статистических моделей входных и выходных параметров устройств.

Интеллектуализация результатов измерений связана с обеспечением ИнРС знаниями о соотношении реально измеряемой физической величины, с той которую в результате хотим получить и применение этого соотношения к измеряемой величине, а также осуществлением предварительной обработки измеряемой величины.

На этапе получения и передачи информации, производится ее ранжирование алгоритмами обработки путем сортировки сигналов по информационному признаку, при заданной ранговой ситуации множества сигналов. Производится устранение шумов, выделение интервалов по фазе, амплитуде, частоте значений.

В обучаемой подсистеме принятия решений накапливаются, с одной стороны, данные от датчиков, факты, характеризующие исследуемый объект, а с другой, — возможные варианты предельно-допустимых уровней нагрузки. Они сопоставляются в интеллектуальном решателе, ориентиром при этом служат обучающие примеры, прогнозные модели объекта. Эти примеры являются эталонами принятия решений в детерминированной среде. Данные мультиагентной сети о состоянии объекта обработаны согласно правилам, сформированным в подсистеме принятия решений, и полученные данные состояния, в виде управляющих сигналов поступают на пульт организации, осуществляющей контроль объектов транспортной инфраструктуры.

Собираемая информация, проходя первичную обработку, формирует банк данных системы. Затем, для вынесения управленческих решений по ликвидации возможных негативных ситуаций на транспорте, проводится математическое моделирование. На базе ИнРС создана автоматизированная система моделирования. Интеллектуальность модели была достигнута созданием программного кода, обеспечивающего полную автоматизацию процесса моделирования и представления результатов при условии изменения параметров в блоках модели. На основе математических моделей созданы прогнозные модели для формирования базы знаний.

На этапе запуска ИНРС после организации БСС производится накопление информации и формирование данных для базы факторов, выявление и уточнение имеющихся закономерностей в базе гипотез, и, после соответствующей отладки системы, формируется база знаний.

После окончания обучения на этапе постоянного функционирования системы рекомендации по управлению выдаются исходя из текущего и прогнозного состояния объекта мониторинга по имеющейся информации в «базе фактов», «базе гипотез». Причем ретранслируются только сигналы риска. Адаптация системы происходит в режиме реального времени эксплуатации объекта.

Заключение

Распределенные интеллектуальные системы являются инструментарием, позволяющим решать сложные задачи, большинство из которых другими методами не решается. Распределённые системы позволяют устранить главный недостаток централизованных систем — ограниченность наращивания вычислительных мощностей.

Вместе с тем, анализ выявил ряд проблем, требующих решения. Ограниченность использования распределённых систем осложняется использованием в их составе оборудования различных производителей с различными типами архитектур. В связи с большим разнообразием аспектов построения вычислительных систем, а также разнообразием существующих операционных систем, возникает необходимость в создании методов адаптивного планирования распределения потоков в распределенной системе. Решение этой задачи позволит значительно ускорить скорость обработки поступающих заявок на обслуживание и увеличить общую производительность системы.

В целом, существует положительная тенденция к решению проблем и следует считать, что в ближайшие годы в этом направлении произойдет качественный технологический скачок.

Литература:

1. *Мартин Д.* Вычислительные сети и распределенная обработка данных: Программное обеспечение, методы и архитектура: [В 2-х вып.]: Пер. с англ. Вып. 1. — Финансы и статистика, 1985.
2. *Цветков В.Я.* Базы данных. Эксплуатация информационных систем с распределенными базами данных. — М.: МИИГАиК, 2009 — 88с.
3. *Шокин Ю.И. и др.* Распределенная информационно-аналитическая система для поиска, обработки и анализа пространственных данных //Вычислительные технологии. — 2007. — Т. 12. — №3. — С. 108–115.

4. *Tanenbaum A., Van Steen M.* Distributed systems. — Pearson Prentice Hall, 2007.
5. *Бурдонов Косачев А.С., Пономаренко В.Н., Шнитман В.З.* Обзор подходов к верификации распределенных систем. — М.: Российская Академия Наук. Институт системного программирования (ИСП РАН) 2003 — 51 с.
6. *Родин А.В., Бурцев В.Л.* Параллельные или распределенные вычислительные системы? // Труды Научной сессии МИФИ-2006. Т. 12. Информатика и процессы управления. Компьютерные системы и технологии. — С. 149-151.
7. *George Coulouris, Jean Dollimore, Tim Kindberg.* "Distributed Systems Concepts and Design" 3 rd edition, Addison-Wesley.
8. *Blaze M. et al.* The role of trust management in distributed systems security //Secure Internet Programming. — Springer Berlin Heidelberg, 1999. — С. 185–210.
9. *Бабич А.В., Берсенев Г.Б.* Алгоритмы динамической балансировки нагрузки в распределенной системе активного мониторинга //Известия ТулГУ. Технические науки. — 2011. — №3. — С. 251–261.
10. *Daryapurkar A., Deshmukh M.V.M.* Efficient Load Balancing Algorithm in Cloud Environment //International Journal Of Computer Science And Applications. — 2013. — Т. 6. №2. — Pp. 308–312.
11. Распределенные системы. Принципы и парадигмы Э. Таненбаум, М. ван Стеен. — СПб.: Питер, 2003.
12. *Цветков В.Я.* Информатизация: Создание современных информационных технологий. Часть 1. Структуры данных и технические средства.— М.: ГКНТ, ВНТЦентр, 1990.— 118 с.
13. *Kluser R.* Globalization, informatization, and intercultural communication. — 2008.
14. *Цветков В.Я.* Формальная и содержательная классификация // Современные наукоёмкие технологии. — 2008. — №6. — С. 85–86.
15. *Цветков В.Я.* Естественное и искусственное информационное поле// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — №5, ч.2. — С. 178–180.
16. *Цветков В.Я.* Стандартизация информационных программных средств и программных продуктов. — М.: МГУГиК, 2000. — 116 с.
17. *Tsvetkov V.Ya.* Opposition Variables as a Tool of Qualitative Analysis // World Applied Sciences Journal. — 2014. — 30 (11). — Pp. 1703–1706.
18. *Tsvetkov V.Ya.* Framework of Correlative Analysis // EuropeanResearcher, 2012, Vol.(23), №6–1. — Pp. 839–844.
19. *Tsvetkov V.Ya.* Information Interaction as a Mechanism of Semantic Gap Elimination // European Researcher, 2013, Vol.(45), №4-1. — Pp. 82–786.
20. *Лекторский В.А., Кудж С.А., Никитина Е.А.* Эпистемология, наука, жизненный мир человека. — Вестник МГТУ МИРЭА. — 2014. — №2(3). — С. 1–12.

21. *Майоров А.А., Матерухин А.В.* Геоинформационный подход к задаче разработки инструментальных средств массовой оценки недвижимости // Геодезия и аэрофотосъемка — 2011.— №5. — С. 92–98.
22. *Ozhereleva T.A.* Geodetic Education//European Researcher, 2013, Vol.(40), №2-1. — Pp. 268–272.
23. *Майоров А.А., Цветков В.Я.* Геореференция как применение пространственных отношений в геоинформатике // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, — 2012.— №3. — С. 87–89.

УДК: 141.155

ТОТАЛЬНЫЙ АУТОПОЭЗИС ЧЕЛОВЕКОМЕРНЫХ СИСТЕМ

Сергеев С.Ф.

*Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербургский государственный политехнический
университет Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ssfpost@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена проблеме коэволюции техногенной среды, человека и социума. Предложена концепция тотальной аутопоэтичности человекомерных систем. Дана авторская интерпретация явлений аутопоэтической самоорганизации, возникающих в техногенной среде, человеку и обществе.

Ключевые слова: аутопоэзис, живые системы, самоорганизация, техногенная среда, тотальная аутопоэтичность.

TOTAL AUTOPOIESIS OF HUMAN-DIMENSIONAL SYSTEMS

Sergeev S.F.

*Saint-Petersburg state University,
Saint-Petersburg state Polytechnical University, St. Petersburg,
Russia
E-mail: ssfpost@mail.ru*

Abstract. The article is devoted to the problem of co-evolution of a man-made environment, man and society. The concept of total autopoiesis chelovekomernyh systems. Given the author's interpretation of phenomena autopoiesis self-organization occurs in man-made environment, man and society.

Key words: autopoiesis, living systems, self-organization, technological environment, total autopoiesis.

Введение

Проблема эволюции и коэволюции человека и человеческой цивилизации является ведущей во всех сферах научного и философского знания. От вариантов ее решения зависят наше настоящее и будущее. В последнее время в психологическом и философском гу-

манитарных дискурсах наблюдается устойчивый интерес к техническим и инженерным дисциплинам, связанным с конвергентными, сетевыми и информационными технологиями, формирующими искусственную среду жизнедеятельности человека [10, 17, 23]. Уклон в сферу технологий и инженерного труда объясняется ожиданием новых возможностей человечества в точке технологической сингулярности подготовленной развитием настоящего этапа техногенной цивилизации и одновременно опасениями, связанными с возможным негативным влиянием технологий на общество, психическую сферу и здоровье человека [22, с. 93–100]. Развитие техногенной среды и ее элементов в виде сервисов и технологий сети Интернет, сотовых коммуникаций, NBICS-технологий идет столь высокими темпами, что человек теряет привычные формы адаптации к возникающему миру высокой сложности. Рушатся привычные формы образования, культуры, профессиональной деятельности, социальной жизни, появляются проблемы, связанные с ростом интеллектуальности искусственной среды и феноменами техноконструирования и модификации личности в сетевой культуре. Возникает высокая доля неопределенности развития человеческой цивилизации [4, 10, 13].

Вместе с тем, необходимо признать, что базовые принципы, лежащие в основе техно-феномена человека, технонауки и технологий, приводящие человечество к уникальной возможности целенаправленного влияния на природу и общество, изучены недостаточно. Природа творческой и созидательной активности и продуктивности человека и общества остается мало изученной, именно поэтому широко распространена точка зрения, в соответствии с которой только индивидуальная человеческая активность ведет к появлению артефактов и техногенного мира. Техногенная среда интерпретируется как результат созидательной человеческой деятельности, ее продукт. Однако это не объясняет сущность наблюдаемых процессов автоэволюции организованной сложности человеческой цивилизации.

Возникающая техническая среда удивительно тонко организована и организуема, что не позволяет говорить о случайности ее появления и полной независимости от человека. Механизмы, конституирующие процессы самоорганизации в техногенной среде, связаны с особым системным статусом человекомерных систем, селективно порождающих техноформы, служащие элементами организованной сложности техносреды. Именно они будут рассмотрены в настоящей статье. Отношения человека и созданного им техногенного мира будут рассмотрены как произвольные отношения, обусловленные особыми свойствами когнитивных и деятельностных систем человеческой психики, организма и общества.

Для объяснения данного феномена мы попытаемся использовать постнеклассические системные представления в психологии и философии, связанные, прежде всего, с самоорганизующимися системами аутопоэтического типа, к которым традиционно относятся живые организмы и социальная коммуникация [16, 11]. Основной метод настоящей работы — теоретический анализ проблемы эволюции человека, психики и техногенной среды с позиций постнеклассической психологии [16–19].

Проблемы самоорганизации и функционирования психики человека в техногенной среде анализируются на основе системного подхода и методологических подходов и идей эпистемологического и радикального конструктивизма, изложенных в работах В.И. Аршинова, В.Г. Буданова, Ф. Варелы, Э. Глазерсфельда, Л.С. Выготского, К.Х. Делокарова, Ф. Капры, Е.Н. Князевой, С.П. Курдюмова, В.А. Лекторского, Н. Лумана, Г.Г. Малинецкого, У. Матураны, Г. Рота, Ж. Пиаже, М.А. Розова, В.С. Стёпина, Х. фон Фёрстера, Г. Хакена и др.

Системно-эпистемологический базис техногенной эволюции

Развитие техносферы логично рассматривать как продолжение эволюции биосферы. Изменение ее системного статуса можно связать со свойствами живых систем и экспансией жизни, тем более что биосферные компоненты организации живого изучаются почти столетие и дают богатый материал для эволюционных теорий. В частности, в работах В.И. Вернадского показано, что биосфера, частью которой является человек, ведет себя как живой организм планетарного масштаба [3]. Разум человека, по мнению Вернадского, является основной силой, преобразующей мир в ноосферу, при этом действие разума сопоставимо с действием геологических сил. В семидесятых годах прошлого века к аналогичным взглядам, идее живой планеты пришел английский биолог Джеймс Лавлок, который считал, что планета как целое приобретает свойства биологического организма, реализуя функции гомеостаза [34].

Однако наиболее популярной концепцией, отражающей системный статус живого является концепция самопродуцирующихся автономных аутопоэтических систем Умберто Матураны и Франсиско Варелы [12, 15, 36, 41]. Суть данных систем состоит в появлении в них самоподдерживающегося циклического процесса («вихря самоорганизации»), ведущего к возникновению существующей во времени и пространстве фиксированной организации исторического типа, проявляющей свойства динамической системы с переменными

структурой, функциями и элементами. Такие системы Хайнц фон Фёрстер (Heinz von Foerster) относил к кибернетическим системам второго порядка (наблюдающие системы) [32]. Существование данных системных образований заключается в непрерывном рекурсивном процессе самовоспроизведения цепей (сетей) процессов, порождающих их и их элементы, получившем название аутопоэзиса («autopoiesis» — самопорождение, самосотворение, самопроизводство). Возникает системное единство (аутопоэтическая система), существующее как результат непрерывного циклического изменения в зоне своего существования замкнутых на порождение самое себя процессов различной физической, информационной и ментальной природы.

Матурана и Варела определяют аутопоэтическую систему следующим образом — «это система, организованная (определена как единство) как сеть процессов производства (трансформации и разрушения) компонентов, которые производят эти компоненты. Одновременно компоненты имеют следующие характеристики: (i) в процессе взаимодействий и превращений между собой они постоянно регенерируют и реализуют сеть процессов (отношений), которая их создала; и (ii) они составляют ее (систему) как конкретное сетевое единство в пространстве, в котором они (компоненты) существуют, указывая на спецификацию топологических доменов в ее реализации в качестве такой сети» [36].

Важным следствием аутопоэзиса является появление и проявление избирательных, селективных свойств живой системы по отношению к себе и среде своего существования. Система не может пропускать в зону самоорганизации своих внутренних операций те воздействия среды, которые могут привести к нарушению циклов аутопоэзиса. Это приведет ее к гибели. В силу этого возникает понятие операциональной замкнутости аутопоэтических систем, в соответствии с которым в данных системах могут существовать лишь только те операции, которые ведут к самовопроизводству системы и расширению области ее существования. По этим причинам аутопоэтическая система не реагирует непосредственно на неспецифическую активацию со стороны внешней среды. Ее развитие определяется преимущественно внутренними закономерностями и причинами, лежащими внутри системы. Такая система представляет собою относительно изолированный от окружающей среды по каузальной структуре фрагмент реальности. Внешняя среда не может извне определить свойства данной автономной системы, прорвать ее каузальную непроницаемость [42]. Заметим, что операциональная замкнутость не означает изоляцию системы от среды, а говорит лишь об особых отношениях системы с окружающим миром.

Аутопоэтический характер системогенеза и функционирования живых организмов, по-видимому, пронизывает все уровни структурной организации живой материи (*тотальная аутопоэтичность*). Это ведет к появлению у животных и человека форм психического отражения и реагирования в виде информационного аутопоэтического процесса, сопровождаемого появлением ментальных понятийных структур и субъектных форм организации границ психического, сохраняющих операциональную изолированность системы от мира. Возникает внутренний субъективный мир как динамический конструктор, ведущий к сохранению биологической и психической организации человека в среде его жизнедеятельности в рамках поведения организуемого с позиций сохранения линии жизни. Аутопоэзис субъектной компоненты организма ведет к созданию и выбору конструкторов, ведущих к продолжению существования системы во времени, порождает смысл и цели жизни. Таким образом, можно предположить, что возникновение сознания и форм ментального (информационного) познания и реагирования, появление субъективного мира являются закономерным следствием аутопоэтического характера функционирования всех систем живого организма.

Сознание человека также проявляет все признаки аутопоэтической системы, и все основные его свойства могут быть изложены в терминах аутопоэтической концепции в рамках синергетических и кибернетических представлений, которые довольно полно представлены в научно-практических основаниях философии эпистемологического конструктивизма [5–9]. Аутопоэтическое сознание избирательно создает и исследует физические и социальные миры, порождая в ментальном пространстве человека их аналоги в субъективной форме, используя в своей конструируемой действительности только те их аспекты, которые могут усилить аутопоэтические свойства организма.

В процессе аутопоэзиса формируется субъективный мир, содержание которого не отражает рационально и беспристрастно (объективно) физический мир, а направлено на создание и продолжение истории действующей личности, описываемой субъектом и фиксируемой в его опыте. Аналогично и социальные коммуникационные системы, будучи аутопоэтическими по своей сути, также «пишут» историю общества, ведут к усилению вектора жизни, выступают в качестве катализатора развития человеческой цивилизации.

Другим важным следствием аутопоэзиса живых организмов является признание конструирующего характера человеческого сознания и психики [1, 13, 17, 20]. Психическое содержание является циклически воспроизводящим себя в среде мозга динамическим ментальным конструктором. В нем отражаются все грани опыта субъекта,

ведущие к появлению, сохранению и развитию личности, становлению индивидуальности. Человек конструирует мир, конструируя себя, и имеет дело только с конструируемыми фрагментами реальности. Все, что не конструируется, выходит из сферы нашего познания и понимания. Именно с аутопоэзисом наших механизмов познания мира и связаны проблемы обучения человека и взаимопонимания. Человек, будучи аутопоэтической системой, может взаимодействовать с другими системами только в неразрушающих его аутопоэзис формах содействия и взаимной ориентации. Именно в этих способах и формах межсистемных неразрушающих взаимодействий, определяемых и допускаемых аутопоэтическим характером системной организации человека, лежат механизмы его воздействия на природу, скрыты истоки технологических возможностей и могущества человечества. Рассмотрим это немного подробнее.

**Аутопоэтические корни техногенной эволюции.
Принцип тотальной аутопоэтичности живых систем.
Основы инженерных возможностей человека**

Человек в процессе трудовой деятельности целесообразно воздействует на природу, одновременно изменяя аутопоэтический мир своей действительности и стоящую за ним физическую (либо иную другую) реальность. Заметим, что человеческая деятельность также функционирует в рамках и в виде поддерживающего себя аутопоэтического процесса. Аутопоэтический характер человеческой деятельности и ее результата — мира действительности, обуславливает их неслучайный характер. Мы живем в строго организованном и организуемом нами и технологией мире. Мир нашей действительности конструируется и организуется по законам, обеспечивающим наше самовоспроизведение и существование. Следствием изложенного может быть вывод о том, что любые изменения в мире нашей действительности, возникающие в силу активности действующего субъекта, и сопровождающие их изменения физической реальности, отражают процессы коэволюции аутопоэтических систем, конструируемых нашим сознанием и воплощенных в жизнь с помощью технологий. Они представлены субъекту непосредственно в объектной (объективной) форме с реально отражаемыми в них аутопоэтически сопряженными элементами объективного (конструируемого) мира.

Из этого следует, что человек не может свободно воздействовать на физический мир, произвольно изменяя его. Конструирующая, творческая активность человеческого разума порождает только системы, поддерживающие аутопоэзис организма и психики. Техно-

генная среда, как продукт деятельности человека, всегда отражает в себе результаты конструирующего и преобразующего мир опыта человека. Она содержит в своих продуктах воплощенные в них системные свойства, позволяющие использовать их в дальнейшем в качестве искусственных элементов для конструирования новых цепей системных аутопоэтических единств более высокого порядка, поддерживать процессы аутопоэтической самоорганизации.

Создание искусственного мира, о котором так много говорят в последнее время в связи с тотальным проникновением техники и технологии в жизнь человека, в своей основе также связано с проявлением конструирующих способностей человека, понижаящих все уровни его психической организации. Способность к конструированию, изменению в нужном направлении объектов и мира действительности является продолжением аутопоэтической организации человека, который, изменяя мир, вводит его в границы своего аутопоэзиса. Инженерная деятельность в системном представлении состоит в создании элементов поддерживающих цепи самовоспроизводства глобального системного организма, включающего техносферу планеты Земля. Эти элементы, представленные в виде продуктов, артефактов и технологий обладают уникальными единичными свойствами, являясь отражением процессов самоорганизации их создателей. Мы конструируем только те фрагменты мира, которые могут вступать в цепи аутопоэтических отношений, непрерывно генерируемых человеком. В силу этого ничего случайного в организации среды жизни нет. Живая система селектирует из среды только те элементы, которые входят в обеспечение аутопоэзиса, и продуцирует в среду элементы, обладающие аналогичными свойствами.

В.В. Чеклецов предлагает концепцию «Разумных Ландшафтов» как метафоры постчеловеческого тела и социального пространства будущих субъектов коммуникации [23, с. 48], формируя в 7 тезисах основные ее положения, в соответствии с которыми:

- граница человеческого «Я» неоднозначна и динамична. Возможно расширение ее топологии за физические границы тела;
- личность репрезентируется в интерактивной аутопоэтической среде;
- конструируемый личностью с помощью технологии «Разумный Ландшафт» может обладать искусственной перцептивной поверхностью, повышающей потенциал самоорганизации, аутопоэзиса и саморазвития человека;
- «Разумный Ландшафт» интерактивен и открыт для коммуникации с Другими. В нем происходит селекция новых форм социальных отношений;

- в пространстве разумного ландшафта происходят семантические процессы и процессы актуализации знаков, символов, паттернов и т. д.;
- происходят процессы производства компонентов для строительства среды и элементов тела;
- ценностные ориентиры, лежащие в основе построения «Разумных ландшафтов» позволяют моделировать новые формы деятельности подхода к бытию.

Нетрудно догадаться, что в концепции Разумного Ландшафта в метафорической форме также отражены системные эффекты аутопоэтических систем действующих в человеческом сознании, живой природе и человеческом обществе.

Аутопоэтический характер человекомерных систем проявляется на всех уровнях и формах их деятельности и организации, что позволяет нам ввести принцип *тотальной аутопоэтичности живых систем*, в том числе человека и продуктов его деятельности (человекомерных систем).

В соответствии с этим принципом, живые системы непрерывно создают цепи аутопоэзиса и вовлекают в них окружающую среду, организуя и изменяя ее в требуемом логикой самоорганизации направлении. Все, что конструируется живыми организмами, носит аутопоэтический характер. Жизнь это непрерывный аутопоэзис, вовлекающий в процессы своей эволюции только способные к аутопоэзису элементы реальности. Иные системы недоступны нам и исключаются когнитивными механизмами из зоны нашего внимания. Мы имеем дело только с аутопоэтическими системами, и ни с какими другими. Например, сам факт наблюдения того или иного объекта в нашей действительности свидетельствует о том, что возникла аутопоэтическая цепь «сознание-наблюдаемый объект». Свойства этой возникшей системы позволяют включать ее в любые отношения с другими аутопоэтическими сущностями сетевого потока сознания, формирующего действительность.

Способность к порождению только аутопоэтических процессов и систем, присущая человеку как живой системе, и лежащая в основе инженерной деятельности, не столь безобидна, как может показаться на первый взгляд. Возникающие аутопоэтические системы в процессе своей эволюции и самоорганизации, отрываясь от их создателя, работают в рамках собственных внутренних описаний, создавая иногда некомфортные, а порою опасные условия для существования человека. Новая системная сущность, в том числе и глобального уровня, может использовать человека как расходный элемент в цепи процессов своего самовоспроизведения, поступая с ним в логике аутопоэзиса, которая может совсем не соответствовать мо-

ральным и этическим воззрениям человечества. Заметим, что наши возможности влияния на процессы аутопоэзиса довольно ограничены. Управлять самоорганизацией непосредственно невозможно, так как это вызовет к жизни защитные механизмы системы, ограничивающие внешнее вмешательство. Можно только ориентировать конструирующие механизмы системы с целью получения требуемого поведения. Примером деструктивного влияния на человека механизмов аутопоэзиса могут быть неоднократно описанные системные эффекты, возникающие в сети Интернет в результате действия коммуникации, проявляющей свойства социальной аутопоэтической системы [19].

Основным механизмом, лежащим в основе конструирующих возможностей человека, является сознание. По мнению Е.Н. Князевой «сознание — эмерджентная, сложноорганизованная и автономная сеть элементов» [7, с. 55], которая порождает квалиа в виде чувственных и ментальных образов, описывающих конструирующий опыт человека. Процессы самоорганизации сознания охватывают и увязывают воедино мозг человека, его тело и окружение. Их появление связано с возникновением «петель циклической причинности», в которых проявляется самодостраивание системы, создание реализуемого образа будущего. Возникающие и растворяющиеся в сознании варианты будущего проявляются в творчестве, мышлении и фантазиях человека. Ограничителями спонтанной активности сознания, ведущими к выбору финального результата, являются механизмы редукции [20], которые создают иллюзию раздельного существования человека и мира, который представлен субъекту в виде независимой от него «объективной реальности». Возникает возможность проверки «соответствия» моделей сознания объективному миру, в процессе которой отбираются наиболее адекватные с точки зрения обеспечения жизнеспособности варианты.

Человек в рамках техногенной эволюции

Любая аутопоэтическая система создает в процессе своей жизнедеятельности искусственную среду, в которой появляются аутопоэтические единства более высокого порядка, которые после своего рождения начинают включать в циклы самовоспроизведения элементы предыдущих систем, реализуя общий вектор продолжения жизни. Спецификой современного технологического этапа развития человеческой цивилизации является интенсивный рост техногенной среды и появление первых признаков ее самоорганизации. Особую роль в возникающем единстве человека и технологии играет коммуникация, определяющая процессы межсистемных ориентаций и со-

пряжений человека и системных элементов включаемых в цепи отношений.

Будучи аутопоэтической системой, человек существует в неразрывном процессе структурного сопряжения со средой своего существования, которая до последнего времени была только источником нужных для самовоспроизводства и существования организма веществ и информации. [14]

Появление на планете Земля искусственной техногенной среды с нервной системой и мозгом в виде сети Интернет сопровождается процессами ее организации и эволюции, превращением в новую аутопоэтическую систему планетарного масштаба — технобиод [21], в обеспечении функционирования которого участвуют все жители планеты как пользователи, вступающие в коммуникацию с сетью. Активным организующим фактором этого образования является циклическая рекурсивная коммуникация в информационно-коммуникационной среде сети Интернет, а исполнительными элементами — человек и управляемые посредством и с помощью компьютерных технологий машины и механизмы.

Технобиод становится самостоятельным системным объектом, в котором роль индивидуального человеческого разума постепенно уходит на второй план. Человек отделяется от природы, становится элементом эволюционирующего искусственного техногенного мира. Одновременно наблюдается начало активного внедрения в человеческое тело технологий, модифицирующих человеческий организм, связывающих его с системами мониторинга и контроля. Индивидуальное поведение и активность человека теряют определяющее значение для процессов развития технобиода. Человек становится регулируемым и регулирующим элементом нового планетарного системного единства [21].

Технологии технобиотического мира

Развитие существующих и появление новых компьютерных и информационных технологий, использующих сетевые технологии и сетевое содержание, создают базис для эволюции технобиода. К ним относятся технологии, описываемые в терминах NBICS-конвергенции [37] и широкий комплекс глобальных прикладных инженерных дисциплин и проектов — «промышленный интернет» (Industrial Internet) [41], «кибер-физические системы» (Cyber-Physical Systems) [33], «промышленность 4.0» (Industrie 4.0) [27], «умный дом», «умный город» [29], «разумная среда» (Smart Environments) [28], «мультимодальные интерфейсы» (Multimodal Interfaces) [38], «иммерсивные среды, интерфейсы и технологии» [18], «технологии радиочастотной

тотальной идентификации (RFID)» [31], «программируемая материя» (Programmable matter)[40], популярный ныне в инженерной среде «интернет вещей» (Internet of Things — IoT) [24] и т. д.

Все перечисленное отражает взрывообразно развивающуюся тенденцию к тотальному охвату всепроникающими компьютерными системами и технологиями контроля и управления всех сфер и сред существования и жизнедеятельности человека при одновременном повышении автономности и независимости от человека самой искусственной технической среды. Так, например, М. W. Maier предлагает архитектурные принципы создания кибер-физических систем, основанных на эволюционных принципах развития [35], включающих пять ключевых характеристик:

- независимость функционирования компонентов системы;
- управленческую независимость компонентов системы;
- географическую распределенность;
- развивающееся поведение;
- эволюционирующие процессы развития.

В обзоре В. А. Бородина представлено описание технологического базиса интернета вещей и сопутствующих ему технологий «облачных» и «туманных» вычислений, отражающих эволюцию информационно-сетевых и коммуникационных технологий [2]. Основными проблемами, по мнению автора, являются «технические проблемы перехода на протокол IPv6, проблемы кибербезопасности, отсутствие стандартов, обеспечивающих защиту личной информации, управление устройствами сетевого подключения и вопросы электропитания датчиков» [2, с. 181].

Вместе с тем следует заметить, что это далеко не самое важное в таких сложных системах, обладающих заложенным в них потенциалом и возможностями аутопоэтической самоорганизации. Проблемы скрытого управления и вероятность появления эффектов деструктивной циклической самоорганизации в социотехнических системах с абсолютной памятью более серьезны и опасны, чем техническая реализация тотально-связанного мира. Система с абсолютной памятью, элементом которой становится интернет вещей, создает условия для появления опасных для общества и человека состояний техносферы. Важным элементом в отношениях с техногенной средой становится реализация принципа предосторожности [26, 41], в соответствии с которым необходим контроль над технологиями в процессе их развития с целью оценки их соответствия положениям техноэтики и биоэтики [10].

Заключение

Развитие техногенного этапа эволюции человеческой цивилизации тесно связано с тотальным аутопоэтическим характером человеческого организма и психики, созидательной деятельностью человека и ее продуктов, ведущим к неизбежному созданию организованной эволюционирующей технической среды, приобретающей свойства самоорганизующегося единства — технобиода, действующего как единый организм, включающий элементы небιологической природы. Возникающие в нем цепи отношений, в силу их самоорганизующегося характера, ускользают от непосредственного контроля создателей, что может приводить к негативным по отношению к человеку (группам людей) эффектам. Задача гуманитарного знания в настоящий момент состоит в необходимости тщательного анализа и научно-философской рефлексии системных качеств зарождающегося на наших глазах технобиотического этапа человеческой цивилизации и биосферы Земли.

Требуется проведение экспертизы глобальных последствий изменений, возникающих в техногенной среде, особенно в ее интерфейсных элементах, обеспечивающих процессы межсистемных отношений и интеграцию человека в технобиотическую среду.

Особую важность в связи с проявлением описанного выше эффекта тотальной аутопоэтичности человекомерных систем, их экспансивного характера приобретает изучение процессов формирования и взаимоориентации культурных сред, возникающих в рамках внутрисетевых коммуникаций [14]. Именно здесь важно выделить и оценить аутопоэтические циклы коммуникаций, их операциональный состав, формирующий дискурсные поля, определить системные свойства возникающих социальных групп и их членов. При конструировании технических систем необходимо оценивать изменение свойств технических объектов при их переходе от создателя к пользователю в новые операциональные отношения.

Литература:

1. *Аршинов В.И., Буданов В.Г.* Сознание и осознание в синергетике // Синергетика на рубеже XX–XXI вв. — М.: Изд-во: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2006. — С. 55–73.
2. *Бородин В.А.* Интернет вещей — следующий этап цифровой революции // Образовательные ресурсы и технологии. — 2014. — №2 (5). — С. 178–181.
3. *Вернадский В.И.* Научная мысль как планетное явление. Отв. ред. А.Л. Яншин. — Москва, Наука, 1991.

4. *Дубровский Д.И.* Природа человека, антропологический кризис и кибернетическое бессмертие // Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии (НБИКС) и трансгуманистическая эволюция. — М.: ООО «Издательство МБА», 2013. — С. 237–252.
5. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Основания синергетики. Человек, конструирующий себя и свое будущее. — М.: КомКнига, 2006. — 232 с.
6. *Князева Е.Н.* Эпистемологический конструктивизм // Философия науки. Вып. 12. Феномен сознания. — М.: ИФРАН, 2006. — С. 133–153.
7. *Князева Е.Н.* Сознание как синергетический инструмент // Вестник международной академии наук (Русская секция). — 2008. — №2. — С. 55–59.
8. *Лекторский В.А.* Субъект. Объект. Познание. — М.: Наука. 1980. — 358 с.
9. *Лекторский В.А.* Можно ли совместить конструктивизм и реализм в эпистемологии // Конструктивизм в теории познания. — М.: ИФРАН, 2008. — С. 36–37.
10. *Лекторский В.А., Кудж С.А., Никитина Е.А.* Эпистемология, наука, жизненный мир человека. — Вестник МГТУ МИРЭА. — 2014. — №2(3). — С. 1–12.
11. *Луман Н.* Общество как социальная система. — М.: Логос, 2004. — 232 с.
12. *Матурана У.* Биология познания // Язык и интеллект. — М.: Прогресс, 1996. — С. 95–143.
13. *Никитина Е.А.* Познание. Сознание. Бессознательное. — М.: Либроком, 2011. — 224 с.
14. *Никитина Е.А., Строганов А.В., Рыкова Г.М., Епифанова Г.С.* Новые формы взаимодействия технонауки и общества. — Вестник Российского философского общества. — 2011. — №2. — С. 131–135.
15. *Никитина Е.А.* Современная эпистемология: тенденции и направления развития. — Социально-гуманитарные знания. — 2010. — №1. — С. 91–103.
16. *Сергеев С.Ф.* Обучающие и профессиональные иммерсивные среды. — М.: Народное образование, 2009. — 432 с.
17. *Сергеев С.Ф.* Аутопоэтические корни сознания // Психология сознания: современное состояние и перспективы: материалы II всероссийской научной конференции. 29 сентября — 1 октября 2011 года, Самара. — Самара: ПГСГА, 2011. — С. 215–218.
18. *Сергеев С.Ф.* Наука и технология XXI века. Коммуникации и НБИКС-конвергенция // Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии (НБИКС) и трансгуманистическая эволюция. Под ред. Проф. Д.И. Дубровского. — М.: ООО «Издательство МБА», 2013. — С. 158–168.

19. *Сергеев С.Ф.* Образование в глобальных информационно-коммуникативных и техногенных средах: новые возможности и ограничения // Открытое образование. — 2013. — №1 (96). — С. 32–39.
20. *Сергеев С.Ф.* Проблема редукции в когнитивном механизме сознания // Проблема сознания в междисциплинарной перспективе / Под ред. В.А. Лекторского. — М.: «Канон+» РООИ «Реабилитация», 2014. — С. 245–254.
21. *Сергеев С.Ф.* Рефлексивная автоэволюция глобальных интеллектуальных техногенных сред // Рефлексивные процессы и управление. Сборник материалов IX Международного симпозиума 17–18 октября 2013 года, Москва; Отв. ред. В.Е. Лепский. — М.: Когито-Центр, 2013. — С. 245–248.
22. *Степин В.С.* Цивилизация и культура. — СПб.: СПбГУП, 2011. — 408 с.
23. *Чеклецов В.В.* Топологическая версия постчеловеческой персоналогии: к разумным ландшафтам // Философские науки. — 2010. — №6. — С. 36–53.
24. Человек в техносреде: конвергентные технологии, глобальные сети, Интернет вещей. Сб. науч. Статей. Вып. 1. Под ред. юр. Н.А. Ястреб. — Вологда: ВоГУ, 2014. — 200 с.
25. *Эйген М., Шустер П.* Гиперцикл: принципы самоорганизации макромолекул. — М.: Мир, 1982. — 270 с.
26. *Юдин Б.Г.* Технонаука, человек, общество: актуальность гуманитарной экспертизы // Век глобализации. — 2008. — №2. — С. 146–154.
27. *Bohler, T.M.* Industrie 4.0 — Smarte Produkte und Fabriken revolutionieren die Industrie // Produktion Magazin, 10. Mai 2012; Last download on 5. September 2012.
28. *Cook, Diane; Das, Saja.* Smart Environments: Technology, Protocols and Applications. Wiley-Interscience, 2005.
29. IBM, (2009), Smarter Cities: New York, 2009: URL: http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/article/newyork2009.html.
30. *Evans P.C., Annunziata M.* Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines, GE, November 26, 2012.
31. *Finkenzeller K.* RFID-Handbuch. Hanser Fachbuch, 1999.
32. *Foerster H. von.* Cybernetics of Cybernetics, or the Control of Control and Communication of Communication. Urbana (IL): Univ. of Illinois Press (Biological Computer Laboratory), 1974.
33. *Lee Edward.* Cyber Physical Systems: Design Challenges. University of California, Berkeley. Technical Report No. UCB/EECS-2008-8. Retrieved 2008-06-07. January 23, 2008.
34. *Lovelock J.E.* Gaia: The practical science of planetary medicine. — Gaia Book limited, 1991. — 192 p.
35. *Maier M.W.* Architecting Principles for System of Systems // Systems Engineering. — Vol.1. — No.4. —1998. — Pp. 267–284.

36. *Maturana H., Varela F.* Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living. Boston: D. Reidel Publishing Company, 1980.
37. *Roco M., Bainbridge W.* (eds). Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. Arlington, 2004.
38. *Sebe N.* Multimodal interfaces: Challenges and perspectives, *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, v.1 n.1, p. 23–30, January 2009.
39. *Schomberg R.* The Precautionary Principle and Its Normative Challenges // *The Precautionary Principle and Public Policy Decision Making.* — Cheltenham (UK); Northampton (MA), 2005. — P. 141–165.
40. *Toffoli T., Margolus N.* Programmable matter: Concepts and realizations. *Physica D.*, 1991, v. 47. — Pp. 263–272.
41. *Varela F., Maturana H., Uribe R.* “Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model”, en *Biosystems*, 1974, 5:187–196.
42. *Varela F.* Principles of Biological Autonomy, New York: Elsevier/North-Holland, 1979.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭПИСТЕМОЛОГИЯ И КОГНИТИВНАЯ НАУКА: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ <i>Лекторский В.А., Кудж С.А., Никитина Е.А.</i>	3
МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛОК ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА <i>Редько В.Г.</i>	14
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ ПЕРКОЛЯЦИОННЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПОДХОДОВ <i>Жуков Д.О., Самойло И.В., Брукс Д.У., Ходжес В.В.</i>	29
УПРАВЛЕНИЕ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ <i>Соловьев И.В., Цветков В.Я.</i>	40
ТОТАЛЬНЫЙ АУТОПОЭЗИС ЧЕЛОВЕКОМЕРНЫХ СИСТЕМ <i>Сергеев С.Ф.</i>	60

Сдано в печать 14.11.2014 г.

Формат 60x90/16. Объем 5,0 уч. изд. л.

Тираж 300 экз.

Издатель И.П. Матушкина И.И.

Отпечатано в типографии ООО «СамПолиграфист»

Сдано в печать 14.11.2014 г.
Формат 60х90/16. Объем 5,0 уч. изд. л.
Тираж 300 экз.
Издатель И.П. Матушкина И.И.
Отпечатано в типографии ООО «СамПолиграфист»