Когнитивное сопоставление семантических и числовых концептуальных моделей цифровых экосистем для управления фазовыми пространствами инженерных онтологий

Горохов В.Л., Брусакова И.А.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

e-mail: vlgorohov@mail.ru

***Аннотация*. В работе предлагается идея содержательного (предметного для любой конкретной отрасли приложений) диалога компьютерной системы с ЛПР. Предлагается два принципиально новых подхода для диалога с ЛПР, основанных на логике Лесневского и средствах генерации когнитивных метафор, базирующихся на BIG DATA.**

Ключевые слова: средства когнитивного динамического проецирования

I. Введение

Киберфизические системы, цифровые экосистемы можно представить как взаимосвязанную совокупность технической и социально-экономической подсистем. Управленческие решения в таких экосистемах принимаются на основе консолидации, синхронизации, интеграции информационных ресурсов различного происхождения. Так, математическое моделирование процессов в технической и социально-экономической подсистемах базируются на различных теоретических платформах. Для технических систем используются математические модели, рассматриваемые в теории управления. Для социально-экономических подсистем базовые принципы описания процессов неразрывно связаны с теорией менеджмента. Инструментами бизнес-моделирования выступают технологии нотационного описания бизнес-процессов.

Наличие так называемых SQL и NOSQL технологий описания наборов данных существенно расширяет возможности анализа данных с использованием BIG DATA технологий. В тех областях науки (например: экономика, астрономия, психология, социология и др.), где существуют серьезные проблемы с априорным детальным описанием объекта исследования (априорная неопределенность), традиционно используют метод научных наблюдений и мониторинга. Организация научных наблюдений диктует в условиях априорной неопределенности использовать интуицию, эмпирический и эстетический опыт исследователя. Здесь для построения знаний в предметных областях используются формальные представления инженерных онтологий (например, OWL/RDF) [1–4]. В тех ситуациях, когда ЛПР надо принимать конструктивное решение, влекущее за собой необратимые действия, идея использовать интеллектуальную и эстетическую интуицию лица принимающего решения кажется весьма актуальной. Здесь возникает «проблема взаимодействия», вызванная семантическим препятствием в определениях бизнес-терминов и в определениях классов в программном обеспечении [1–2]. Именно здесь уже достаточно давно существует арсенал программных средств когнитивной визуализации (в рамках технологий Data Mining), который может дать существенный эффект [5–24].

Разительными примерами такой сферы применения Data Mining является практическая медицина и менеджмент. Именно в этих сферах конфликт между глубокой априорной неопределенностью и необходимостью принять решение здесь и сейчас имеет наиболее острую форму. Еще одной областью активного использования Data Mining является наблюдательная астрономия. Здесь наработан огромный опыт использования интуиции ЛПР для организации и обработки данных наблюдений. Этот опыт уже начинает использоваться в перечисленных выше отраслях знаний. Практика проведения современных наблюдений показала, что для эффективной работы с современными программными системами обработки многомерных данных (таких как MAIDAS, ENVI, MATLAB, STATGRAPHICS, SPSS и др.) нужно провести достаточно подробный «диалог» между системой обработки данных и пользователем. В этой ситуации под пользователем понимается ученый, который осуществляет постановку, проведение наблюдения, обработку экспериментальных данных и он же осуществляет принятие научных решений, которые являются главным результатом наблюдения. С учетом традиций принятых в компьютерных науках пользователь, принимающий решение обозначается, как лицо принимающее решение – ЛПР.

Для подобных ситуаций активное использование интеллекта и интуиции ЛПР в Data Mining привело к новым и достаточно неожиданным идеям и методам. Настоящий доклад преследует цель – обратить внимание широкой научной общественности на эти весьма перспективные идеи. Однако в настоящее время требуется развитие информационных систем аналитического типа для интеллектуальной поддержки принятия решений по результатам мониторинга, работающие с учетом онтологических интенций лиц принимающих решений (ЛПР), в условиях значительной (глубокой) неопределенности состояния объектов в киберфизических системах.

Подобные программные продуктов использует целый комплекс достижений в области математической статистики, когнитивной машинной графики, когнитивной психологии и, строит диалог с ЛПР на основе последних открытий (Эдмонта Гуссерля, Жан Поль Сартра, Девид Чалмерс, Дениел Денет, Стивен Пинкер) в теории познания (гносеологии).

II. Постановка задачи

Проблемы эффективной организации наблюдений и мониторинга объектов как элементов киберфизических систем изучаются и решаются сегодня на международном, национальном и региональном уровнях в рамках онтологического подхода к управлению процессами цифровой трансформации наукоемкого предприятия как киберфизической системы [1–15].

Информационное обеспечение мониторинга таких сложных систем требует развития нового поколения информационно-аналитических систем ИАС (интеллектуальные информационные системы ИИС) обеспечивающих интеллектуальную поддержку принимаемых решений по результатам мониторинга. Еще раз подчеркнем особенность объектов мониторинга, как сложных систем состоит в глубокой априорной неопределенности характеристик состояния этих систем, что и порождает серьезные проблемы [1–7].

В данном разделе делается попытка изложения ряда идей и достижений в перечисленных областях [1–7] с учетом инженерной специфики их возможного применения. Работа опирается на возможности использования этих достижений на уже действующих программных средствах интеллектуальной поддержки принимаемых решений в задачах управления сложными системами с глубокой априорной неопределенностью. Это, прежде всего системы, использующие когнитивную машинную графику (системы SWOT, PEST-анализа, системы динамической визуализации многомерных данных X-GOBI, SW, SCV и т.д.)

Внимание концентрируется на принципиальных идеях и понятиях, освоение которых позволит эффективно и рационально использовать все возможности новых информационных технологий для решения проблем в практике управления процессами цифровых трансформаций наукоемких предприятий.

Разработанный в когнитивной машинной графике и теории познания набор понятий включающих понятия онтологии, семантики, ноэмы, ноэзы, интенции, описывающих феномен когнитивного образа многомерных данных (порожденных объектом мониторинга и отражающих его фундаментальные свойства) построены на аналогиях между задачами поддержки принятия решений в условиях глубокой априорной неопределенности и познавательными процессами, описываемыми в теории познания. Этот набор понятий дает возможность модернизировать интеллектуальные интерфейсы современных систем поддержки принятия решений и систем машинной графики. Появляется возможность формирования новых идей, методологий и основанных на них методик работы с интеллектуальными интерфейсами.

Использование данного подхода в сочетании с перспективным медиа оборудованием открывает принципиально новые возможности конструирования технических средств и методик для стимуляции творческих возможностей человека – ЛПР (такие средства получили название техногностических систем).

Современные объекты мониторинга киберфизических систем представляют собой столь сложные и мало исследованные объекты, что неизбежно для их изучения требуется активизация не только конкретных теоретических парадигм информатики, но и подключение всего комплекса гносеологических концепций лица принимающего решения (ЛПР), его научной и эстетической интуиции, всего комплекса эмпирических знаний и навыков в рамках феноменологии интерсубъективности [10, 12, 33]. Это обеспечивается средствами формирования семантических, онтологических и фазовых пространств киберфизических систем для конкретных предметных областей [34]. Как уже подчеркивалось выше, ярким примером задач, в которых требуется подобный подход, являются многие задачи менеджмента. Здесь ЛПР имеет дело с целым комплексом научных теорий и философских воззрений, которые необходимо учитывать при организации и проведении мониторинга.

Весь комплекс воззрений ЛПР представляемых в данной предметной области в виде предметных установок на самом деле есть следствие философских воззрений, и которые прямо или косвенно отражаются или должны отражаться в инженерных онтологиях ЛПР. Это могут быть достаточно традиционные философские воззрения в стиле Канта, Гегеля. Возможно, ЛПР используют и более рафинированные феноменологические онтологии 21 века в стиле Э. Гуссерля, М. Хайдегера, Ж.П. Сартра. Их философские онтологии включают в себя широкий спектр и более традиционных философских воззрений – так что ЛПР имеет широкие возможности для классификации и выбора своих философских предпочтений.

Эти предметные установки принципиально влияют на выбор лицом принимающим решения вида алгоритмических и программных средств, необходимых для принятия решений. Ибо разработка разных алгоритмов обуславливается этими воззрениями, предметными установками.

При этом, увы часто, ЛПР не осознают, какое глубокое воздействие эти воззрения оказывают на формирование их инженерных онтологий (т.е. их установок в конкретной предметной области). При этом уже эти установки в свою очередь влияют на выбор тех или иных алгоритмов обработки многомерных данных мониторинга киберфизических систем. Между тем весь арсенал современных алгоритмов (например: вычислительная библиотека Tensor Flow) был создан под влиянием различных онтологических установок. И поэтому результат использования разных алгоритмов может приводить к разным результатам при обработке одних и тех же многомерных данных мониторинга. А разные результаты обработки приводят к разным решениям ЛПР. Другими словами ЛПР как представители различных научных школ, часто формируют отличающиеся наборы предметных установок, что и является источником противоречий при принятии решений после обработки данных мониторинга. Преодолеть эти противоречия можно при условии, что выбор алгоритмов обработки

осуществляется с учетом декларации предметных установок ЛПР в рамках инженерных онтологий. Идея содержательного, предметного для данной отрасли приложений диалога компьютерной системы с пользователем получила название и свое материальное воплощение в виде интеллектуальных машинных интерфейсов (интеллектуальные адаптивные интерфейсы) ИИ [1]. Подобные программные надстройки предоставляют (перед началом работы с системой обработки данных) диалог с ЛПР с целью создания так называемой модели пользователя (User model) [1–2]. Предлагаемые модели обеспечивают настройку системы обработки данных, которая будет гарантировать наиболее рациональное и адекватное использование имеющихся математических средств обработки данных и моделирования. По сути, речь идет о настройке системы Data Mining под возможности конкретного пользователя (ЛПР). Учитываются его теоретические, экспериментальные и познавательные установки, которые объективно декларируются.

Более конкретно можно сказать, что для исправления ситуации при выборе алгоритмов предлагается осуществлять учет и трансферт философских онтологий на основе средств онтологической инженерии, более детально в них фиксируя философские предпочтения ЛПР с помощью языков неформальной логики (например, логических языков Лесневского). При этом появляется возможность сопоставления инженерных онтологий с семантическими и фазовыми пространствами киберфизичских систем.

На актуальность подобного подхода для разрешения ряда конфликтов в современных научных исследованиях фундаментального характера указывают выдающиеся современные ученые. В экономике это – Н.Н. Талеб, Д. Канеман и др., в естествознании это – В. Гейзенберг, Р. Пенроуз, Ж. Пиаже, Г. Селье и др.

Кроме того, в данной работе развивается идея и технический инструмент отражения феноменологических онтологий ЛПР в когнитивных образах, образованных на основе фазовых и семантических пространств. Здесь используются пространства инженерных онтологий и семантические сети. При этом главное (благодаря технологии когнитивной визуализации) – это возможность сопоставить семантические и фазовые пространства, чтобы сформировать метафорическую модель в сознании ЛПР, связывающую объекты реального мира с объектами инженерных онтологий. Она обеспечивает консолидацию возможностей сознания ЛПР для фиксации всех аспектов поведения киберфизических систем.

Эту метафорическую модель уместно обозначить как когнитивную метафору. При этом уже сейчас существуют инструменты объективации подобных метафор в виде программ формирования когнитивных образов SW, программ 3D-визуализации по проекциям и трансформации графических образов и словесных описаний VLM, VVL. Программа SW обеспечивает представление в виде когнитивных зрелищных образов результатов многомерного мониторинга киберфизических систем. Полезность научного и инженерного применения когнитивных метафор, как «моста» между научной интуицией и рациональным знанием отмечена в трудах С.С. Гусева. Возможно смысловое расширение понятия компьютерная метафора до термина когнитивная компьютерная метафора.

Рассмотрим этапы работы с предлагаемыми инструментами для формирования когнитивных метафор семантических пространств и когнитивных образов фазовых пространств киберфизических систем.

III. Этапы сопоставления графических образов онтологических семантических и фазовых пространств и формирование когнитивных метафор инженерных онтологий

Программные инструменты генерации когнитивных образов многомерных данных мониторинга позволяют воспользоваться возможностями наглядно-образного мышления человека. В настоящее время разработаны программные и алгоритмические средства представления многомерных данных мониторинга киберфизических систем (фазовых пространств) в виде динамических проекций этих многомерных данных, которые порождают в сознании ЛПР «пседо-трехмерный когнитивный образ», отражающий геометрические свойства многомерных данных наблюдений [5–6, 11, 13–15]. Данное направление BIG DATA получило название компьютерная когнитивная графика, а технологии их использующие получили название технологий когнитивной визуализации (ТКВ) [5, 6, 13, 27].

Когнитивный образ, порожденный ТКВ, позволяет ЛПР адекватно природе данных выбрать математические средства их обработки и наглядно представить их математическую и физическую природу. Подобный подход, очевидно, вписывается в современную традицию обработки данных, обозначенную Тьюки, как разведочный анализ данных. Зрительное изучение «пседо-трехмерного» когнитивного образа позволяет ЛПР увидеть уникальные структурные особенности многомерных данных, отражающие принципиально новые свойства объекта исследования

В качестве когнитивных метафор могут выступать и графические образы семантических и онтологических пространств уже разработанных в инженерной онтологии. Псевдо-трехмерные когнитивный динамические образы могут выступать, как еще один графический инструмент для количественного описания киберфизических систем, обнажая их фазовую структуру. Совокупность подобных когнитивных метафор позволяет не только описать различные аспекты киберфизических систем в рамках инженерных онтологий, но и обеспечить уточнение предметных установок ЛПР столь актуальное в настоящее время.

В рамках этого раздела можно отметить, что естествознание и прагматические науки (экономика, менеджмент, социология и др.) на современном уровне развития допускают наличие логических парадоксов в отношении научных теорий. Современные философские системы от Поппера до Хайдеггера также допускают подобные ситуации. Здесь важно чтобы при обсуждении таких парадоксов естествоиспытатели с помощью технологий когнитивной визуализации имели возможность четко и публично зафиксировать свои онтологические, гносеологические и физические предпочтения.

Именно этого порой и не происходит по причине отсутствия современных инструментов для фиксации

всего комплекса наблюдательных и теоретических установок ЛПР. Предлагаемые инструментальные когнитивные средства позволяют фиксировать и сопоставлять эти онтологические схемы. Здесь для фиксации и документирования кажется уместным использовать байесовский подход, который уже активно используется в наблюдательной астрофизике [8, 22–27]. Такой подход позволяет и предписывает рациональным образом фиксировать и сопоставлять результаты разных авторов. Он позволяет во всей полноте, открыто и четко фиксировать каждому ЛПР свои познавательные установки, принятые теоретические модели и средства обработки данных наблюдений. Это позволит избежать недоразумений и бесплодных споров, связанных с недомолвками или неясностями в отношении гносеологических и онтологических установок различных авторов.

Подобный подход позволяет дополнить бурно развивающуюся инженерию онтологий дополнительными инструментами помогающими сделать явными знания количественного характера, содержащиеся в рамках предприятий и бизнес-процедур [7].

В работе предлагается идея содержательного (предметного для любой конкретной отрасли приложений) диалога компьютерной системы с ЛПР. Предлагается два принципиально новых подхода для диалога с ЛПР, основанных на логике Лесневского и средствах генерации когнитивных метафор, базирующихся на BIG DATA [23–25]. В следующем разделе предлагается сочетать в системах поддержки интеллектуальных решений ЛПР методы генерации и сопоставления когнитивных метафор и средств формирования инженерных онтологий сгенерированных для конкретных предметных областей, на основе неформальных логических логик (например, логик Лесневского и формальных онтологий В.Л. Васюкова). Предлагаемые ниже методы и подходы могут дополнить инструментарий проектирования инженерных онтологий FODA, Protégé, DSL Tool VS.Net и др., [2–4].

Очевидно, что естественнонаучные и прагматические теории предполагают объекты, которые отражаются в теории как реально существующие. Совокупность (универсум) подобных объектов и образует онтологию этой теории. Обычно в этой связи говорят об онтологических допущениях языка теории. Традиционно считается, что семантика имеет дело с отношением наших утверждений к действительности, а онтология есть теория представления этой действительности. Поэтому, используя логическую семантику необходимо учитывать возможность строгой фиксации всего набора нюансов, связанных с возможными трактовками феномена сознания и интеллекта разными исследователями (пользователями систем интеллектуальной поддержки принимаемых решений).

Таким образом, развитие систем искусственного интеллекта поставило логическую семантику (особенно алгебраическую) в положение наиболее актуального и интенсивно развивающегося раздела логики. Использование средств логической семантики как инструмента для формулировки гносеологически более тонкой понятийной структуры для систем добывания (data mainig) и хранения научных знаний позволяет ЛПР более детально формулировать его интуитивные, эмпирические и философские взгляды на объект исследования. Это позволит избежать конфликтов при принятии решений ЛПР и, следовательно, уменьшить вероятность катастрофических технологических событий, связанных с неадекватными решениями.

Формулировки, выраженные в терминах логической семантики, обеспечивают возможность вполне рациональным образом сформировать инженерные онтологии и повлиять на интерпретацию зрительных образов онтологических, семантических и фазовых пространств в системах когнитивной визуализации данных мониторинга. Другими словами, это дает возможность изучения различных представлений и концепций предметной области, обогащение ее новыми видами объектов и в том числе и на основе когнитивных образов.

Техническая схема сопоставления графических образов киберфизических систем, представленных семантическими, онтологическими и фазовыми пространствами. Результат может быть оформлен в виде когнитивных метафор.

Здесь речь идет, прежде всего, о процессах отображения логической структуры феноменологических конструкций в графические образы семантических и онтологических пространств и сопоставления их с когнитивными образами фазовых пространств. При этом существующие программные средства (VLM,VVL) позволяют сопоставлять языковое описание когнитивных образов и языковое описание инженерных онтологий предметных областей декларируемых ЛПР.

Особенность такого отображения заключается в том, что фактически оно является переводом, феноменологических концепций на неформальный язык содержательной семантики разрабатываемой предметной области и когнитивных образов ЛПР. Сопоставление содержательной семантики и когнитивных изображений фазовых пространств в данной работе поддерживается концепцией предварительно обучаемых визуальных языковых моделей (VLM), демонстрирующих замечательные возможности описания объектов на естественных изображениях в рамках объяснительного искусственного интеллекта (Аверкин А.Н. Локальные объяснения для больших языковых моделей: краткий обзор методов. XXVII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2024) 22–24 мая, 2024, Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»).

Список литературы

[1] Stefanuk U/L/ Towards intelligent operating system flexible lisp environment // UTT Sem/ on man-machine interface. TSPOO:Tech. Res.Cetr. Finlfnd, 1987.p 117-127.

[2] Асунсьон Гомес-Перес, Мариано Фернандес-Лопес, Оскар Корчо (2004). Онтологическая инженерия: на примерах из областей управления знаниями, электронной коммерции и семантической сети. Springer, 2004.

[3] Riichiro Mizoguchi (2004). «Учебник по онтологической инженерии: часть 3: Углубленный курс онтологической инженерии»: Вычислительная техника нового поколения. Ohmsha Springer-Verlag, 22 (2): 198-220.

[4] Елена Паслару Бонтас Симперл и Кристоф Темпич (2006). «Инженерия онтологий: проверка реальности". М.: Высшая школа, 2004. 616 с.

[5] Горохов В.Л., Муравьев И.П. Когнитивная машинная графика. Методы динамических проекций и робастная сегментация

многомерных данных. Методология, методики и интерфейсы. Монография. СПб.: ИНЖЭКОН. 2007, 173 с.

[6] Управление в условиях неопределенности. /Прокопчина С.В., Шестопалов М.Ю., Уткин Л.В., Куприянов М.С., Лазарев В.Л., Имаев Д.Х., Горохов В.Л., Жук Ю.А., Спесивцев А.В. /Монография. СПб. Изд-во: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. 303 с.

[7] Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука,1981.

[8] Agostini G. Bayesian reasoning in physics, CERN 99-03 July 1999.

[9] Горохов В.Л., Гусева Е.А., Леонов В.Е. Компьютерные аллюзии интенциональных и эйдетических объектов в когнитивных образах. //Логико-философские штудии-4. Вып. 4: Сб.статей. /Под ред. Я.И. Слинина., Е.Н. Лисанюк СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета. 2006. с. 112-132.

[10] Горохов В.Л., Муравьев И.А. Выявление компьютерных метафор интенциональных и эйдетических объектов в когнитивных образах // Вестник ИНЖЭКОНА Серия технические науки выпуск 3 (12) 2006 с74-85.

[11] Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика Под ред. Д.А. Поспелова. М.:Наука, Гл. ред. Физ.мат. лит., 1991. 192 с.

[12] Гусева Е.А., Леонов В.Е. Проблема реализуемости высших психических функций в системах машинного интеллекта // Вестник ИНЖЭКОНА Серия технические науки выпуск 3 (12) 2006 с85-89.

[13] Горохов В.Л., Витковский В.В., Иванов Л.Н. Робастно-когнитивная технология динамической визуализации многомерных наблюдательных данных. / Препринт САО РАН N93, Ниж Архыз, 1992.

[14] Allen R.B. Cognitive Factors in Human Interaction with computers.-behavior and Information Technology, volume 1, number 3, 1989, p.257-278.

[15] Gorohov V.L., Vitkovskij V.V. Ivanov L.N. Cognitive informational technology of plannig and control of ecological monitoring with further robust analysis of extreme manifestations Procceedings First Eurasian symposium on space science and technologies Gebze,Turkey, Octob.25-27,1993.

[16] Горохов В.Л., Иванов Л.Н. Пакет программ квантильной визуализации и классификации многомерных данных и его развитие для задач обработки сигналов // Материалы 45 науч-техн. конф. «Актуальные проблемы развития радиотехники электроники и связи» 16-18 апреля 1990 г. Ленинград.

[17] 17 Buja D., Cook D., F. Swayne Interactive High-Dimensional Data Visualization, Journal of Computational and Graphical Statistics 5(1) 78-99 (1996).

[18] 18 Koschat M., Swayne D.F. Interactive Graphical Methods in the Analysis of Customer Panel Data, Journal of Business and Economics Statistics 14(1) 113-132 (1996).

[19] Symanzik J., Majure B., Cook D. and Cressie N. Dynamic graphics in a GIS: a link between ARC/INFO and XGobi, Computing Science and Statistics: Proc. of the 26th Symp. on the Interface, 431-535 (1994).

[20] Geladi P., Esbensen K. Regression on multivariate images: principal component regression for modeling, prediction and visual diagnostic tools // Journal of chemometrics, vol. 5, 97-111(1991).

[21] Кулинич А.А. Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва» //Программные продукты и системы. 2002.

[22] Горохов В.Л., Муравьев И.А. Компьютерные метафоры для интенциональных и эйдетических объектов в когнитивных системах // Труды Международной конференции по мягким вычислениям, 17-19 июня 2006, (SCM-2006), Санкт-Петербург. 2006.

[23] Горохов В.Л., Тееррикорпи П., Барышев Ю.В., Витковский В.В. Синтез новых когнитивных метафор для интерактивного анализа многомерных данных мониторинга космических систем ближнего и дальнего космоса // Сб. науч. тр. Международной науч.-практ. Конф. «Современные проблемы прикладной информатики» 23-25 мая 2007 г. СПб.: Изд-во СПбГТУ, с. 90-93.

[24] Горохов В.Л., Лукьянец А.А., Ротарь В.Г., Чернов А.Г. Методы когнитивной визуализации многомерных данных для поддержки принятия решений // Труды Международной конференции по мягким вычислениям, 25-27 июня 2007, (SCM-2007), Санкт-Петербург. 2007.

[25] Горохов В.Л., Тееррикорпи П., Барышев Ю.В., Муравьев И.П. Компьютерные метафоры феноменологических конструкций Ф. Брентано, М. Хайдегера, Ж.П. Сартра для систем обработки астрофизических наблюдений // Труды Международной конференции по мягким вычислениям, 25-27 июня 2007, (SCM-2007), Санкт-Петербург. 2007.

[26] Горохов В.Л., Адмакин М.Ю., Степанов В.Ю., Журавлев А.А. Опыт 3-D представления когнитивных образов динамического проецирования многомерных данных // Мягкие измерения и вычисления. 2019. №8 (20). с.42-50.

[27] Горохов В.Л., Цаплин В.В., Витковский В.В. Когнитивные технологии визуализации многомерных данных для интеллектуальной поддержки принятия решений // Программные продукты и системы, 2014. №3(107) С. 22-25.

[28] S.I. Shirokov, R.I. Gainutdinov, N.Yu. Lovyagin, and V.L. Gorokhov Solving the inverse cosmological calibration problem of gamma-ray bursts / MNRAS 527, 2214–2231 (2024)

[29] S.I. Shirokov, I.V. Sokolov, N.Yu. Lovyagin, L. Amati, Yu.V. Baryshev, V.V. Sokolov, and V.L. Gorokhov High Redshift Long Gamma-Ray Bursts Hubble Diagramas a Test of Basic Cosmological Relations, MNRAS 4-18 (2020).

[30] Nikita Yu. Lovyagin, Rustam I. Gainutdinov, Stanislav I. Shirokov and Vladimir L. Gorokhov. The Hubble Diagram: Jump from Supernovae to Gamma-ray Bursts // Universe 2022, 8(7), 344; https://doi.org/10.3390/universe8070344

[31] Горохов В.Л., Широков С.И., Витковский В.В. Когнитивный метод динамической визуализации многомерных данных, применяемый к отношению Амати // Statistical Challenges in Modern Astronomy VII. (SCMA VII). June 7–10, WebInfo@outreach.psu.edu T and hosted by the Penn State Center for Astrostatistics Pennsylvania State University. 2021.

[32] Maxim Nikonov, Mikhail Chekal, Stanislav Shirokov, Andrey Baryshev, Vladimir Gorokhov. The line-of-sight analysis of spatial distribution of galaxies in the COSMOS2015 catalogue /Version October 28, 2020 submitted to Universe (2020 by the authors. Submitted to Universe for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/))

[33] Гуссерль, Эдмунд. Картезианские размышления /пер. с нем. Д.В.Скляднев. Санкт-Петербург: Наука: Ювента, 1998315с.

[34] Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. СПб.: Изд-во «Лань», 2016. 324 с.