

ОНТОЛОГИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ОТКРЫТИЙ

Райков А.Н.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65

alexander.n.raikov@gmail.com

Аннотация: В статье отмечено, что современные информационные системы, создаваемые для поддержки научной деятельности, основное внимание уделяют информационно-справочной работе и анализу ретроспективных данных для прогнозирования развития событий и выявления скрытых взаимосвязей в больших данных и знаниях. Методы онтологизации при этом применяются для построения моделей искусственного интеллекта (ИИ) путем экспликации знаний экспертов и анализа больших данных. Показано, что при этом современные подходы к онтологизации чрезмерно редуцируют неформализуемые и некаузальные когнитивные процессы научных открытий. Попытки формализации этих процессов приводят к некорректной и неполной замене бесконечномерных и непрерывных когнитивных явлений конечномерной и дискретной символикой. Для компенсации получающихся при этом смысловых искажений разработан подход конвергентной онтологизации научного творчества с подключением возможностей продвинутого ИИ, когнитивные семантики моделей которого формируются с применением методов решения обратных задач в топологических пространствах. В настоящее время предложенный подход успешно используется для ускоренного коллективного стратегического планирования в реальной цифровой экономике.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, конвергенция, научные открытия, онтологизация.

Введение

Термин онтология применительно к сфере ИИ наиболее рельефно прозвучал еще в середине 1980-х, когда ученым стало понятно, что в этой сфере возможности математической логики и формализации явлений сильно ограничены. Любой исследователь, ученый обладает опытом, имеет знания, он переживает, мыслит, чувствует, делает умозаключения, одарен интуицией и пр. Все это не может быть описано строгой логикой, включая модальную, нечеткую и пр. Человек в творческом процессе использует накопленные знания и оперирует неформализованными понятиями, подо что нужны свои особенные операторы.

Рассмотрим целенаправленный творческий процесс с недостаточно ясными целями. В нем коллективу ученых требуется обеспечить слаженное целеполагание и постановку задачи, принятие согласованного коллективного решения, разрешить конфликты в противоречивой ситуации, извлечь новые смыслы из возникающих парадоксов. В процессе коллективного творчества участники могут вести себя хаотически, разнонаправленно, эмоционально, далеко не всегда осмысленно. Группа может быть малая (до 7-12 человек), средняя (от 13 до 35 человек) и большая (от 35 до 250 человек).

Скорее всего, именно для такого, творческого, случая, а также для интерпретации неформализуемого гуманитарного знания введено понятие онтологии. Оно помогает ответить на давние вопросы о том, в чем состоит интуитивное отличие математического (формализованного) знания от знания гуманитарного, познавательного (неформализованного); какие мыслительные и эмоциональные процессы порождают новые понятия, на основе которых делаются нестандартные открытия. Онтологии помогают понять суть человеческих умозаключений. Все это в условиях интенсивного развития систем ИИ порождает новые подходы к генерации идей.

Для группы ученых индивидуальные суждения могут быть смоделированы как вероятностное распределение ответов. Однако вероятностная оценка не всегда хорошо коррелирует с практикой, ибо реальная практика погружает человека в бесконечномерное пространство интуитивного, физического, душевного и духовного, что явно не может быть охвачено теорией.

Так, в области квантовой физики Гейзенберг для объяснения недоступных для прямого наблюдения явлений, о которых имелись экспериментальные данные и оценки, ввел понятие квантовых величин, зависящих от целых чисел. Однако он подозревает в этом ошибку, поскольку такое представление не обладает свойствами коммутативности. Дирак же интуитивно увидел в этом заманчивую идею, и, вспомнив о скобках Пуассона, вывел свою знаменитую формулу, связывающую квантовые величины с классическими переменными. В таких, творческих, случаях, для интерпретации в системах искусственного интеллекта неформализуемого гуманитарного знания призвано использовать понятие онтологии.

1 Онтология творчества

Онтология—это средство описания знаний и когнитивных процессов сознания, отличающийся от формально-логического инструментария. Это модельный язык с обогащенными семантическими интерпретациями, позволяющими описывать объекты и явления с учетом мыслительной и эмоциональной насыщенности. Он служит для представления сложных интеллектуальных явлений, например, процессов целеполагания и планирования, верификации компьютерных моделей и оценок экспертов. Онтологический подход к анализу умозаключений основывается на следующих особенностях:

- потребность экспликации содержания и структуры неформализованных понятий,
- определение некаузальных и нелокальных способов изменения состояния понятий,
- исследование взаимосвязи понятий с бесконечным внешним контекстом и др.

Формально-логический подход в ИИ является, несомненно, одним из важнейших для представления и обработки знаний. Однако, такой подход оперирует не понятиями, а утверждениями, представляемыми в виде логических предикатов с кванторами (например, всеобщности, существования). Такой подход постулирует требование репрезентации понятий, контекста, мыслей, трансцендентальных состояний сознания в виде логических формул, аксиом, правил вывода. Однако такое требование не соответствует истине, хотя бы потому, что логическая репрезентация мыслей и чувств слишком бедна для моделирования умозаключений человека, а дискретный характер классической логики не позволяет во всей полноте представить непрерывные сигналы сознания, ограничивая выражение смыслов умозаключений только синтаксическими конструкциями.

Вместе с тем любые понятия тесно связаны с конкретными ситуациями и текстами, которые их описывают. Скажем, уже давно в области ИИ ведутся исследования по формированию понятий с использованием контекстных и нарративных грамматик [1,2]. Так, в последней из перечисленных работ предлагается осуществить синтез сюжетных линий. В настоящее время, применительно к процессу научного исследования с использованием ИИ такой синтез будет основан на выделении:

- участников, экспертов, владеющих различными знаниями;
- искусственных агентов, интеллектуальных роботов, оперирующих формально-логическими методами;
- ментального (с фиксацией намерений) и аффективного (оценочного) состояний участников;
- типов связей состояний: актуализации состояния из ментального в аффективное; мотивации в рамках ментального состояния; терминации, связывающей состояния с замещением одного другим; эквивалентности и каузальности, формально-логических;
- источников информации в виде больших данных, экспертных оценок и пр.

Перечисленные составляющие не могут быть полностью интерпретированы формально-логическим языком. Вместе с тем, именно они позволяют говорить о семантике понятий, представляющих творческий процесс, трансформации различных понятий из одного в другое. Для представления творческого процесса необходимо выявить определенную совокупность понятий, установить связи между ними, выстроить костяк синтезирующего процесса, и при этом оставить достаточно свободы для генерации иных вариантов понятий.

В творческий процесс вовлекается работа с текстами статей, книг, патентов, записок, сообщений и пр. Эти источники должны быть также интерпретированы в систему понятий таким образом, чтобы творческий процесс был сходящимся к некоторому результату. При этом множества понятий должны быть сведены в некий обобщенный текст, который отличается от исходных определенным порядком изложения. В зависимости от области науки этот порядок обуславливается адекватной системой научных понятий, аксиоматикой. Однако, в любом случае, в этом обобщенном тексте должна быть цель, анализ ситуации, проблематизация, заложена теория, определена ее истинность и др.

Все время повторяющиеся попытки классических научных подходов осуществить детальную формализацию знаний в области гуманитарных наук и даже теоретической физики, где велика составляющая неформализованного творческого мышления и даже веры в правильность формул, оправдывают себя явно не в полной мере. Так, идеи теории относительности или неполноты квантовой физики пришли в голову Эйнштейну, как известно, далеко не только на основе строгих математических выводов и нетленных аксиом. Ведь основой творческой деятельности является работа с понятиями, с их трансформацией, с соотносением этих понятий с ситуациями, сознанием, подсказками коллективного бессознательного. Здесь есть своя логика, которая обычно вводится специальными операторами. Замена же понятия формулой делает его вырожденным.

2 Оператор творчества

Искомым оператором может являться частично формализуемый оператор онтологизации, который используется для изменения онтологического статуса знания, трансформирующий понятия, которые отражают семантику моделей ИИ, преобразующий денотативную (формализуемую) семантику моделей ИИ в когнитивную (неформализуемую) и наоборот. На определенном уровне абстракции оператор может быть введен через следующую триаду:

- некое абстрактное знание K_n , где $n=(1,\infty)$ —номер знания, о трансцендентальном явлении и понятии T_n (cognitive semantics) или формализованных объектах и событиях M_n (денотативная семантика),
- оценка абстрактного знания $E(K_n)$, определяющая онтологический статус знания K_n во внешнем контексте C , включающего другие знания, понятия, события, объекты;
- оператор онтологизации $O(C, K_n)$, который изменяет онтологический статус знания K_n .

Каждое абстрактное знание в приведенной триаде может быть представлено в символьном виде (логический предикат, фрейм), чего нельзя сказать о самом понятии, которое не может быть формализовано. Для репрезентации самого понятия в процесс должен быть включен человек.

Оценка знания может быть осуществлена экспертами или алгоритмически. Эта оценка снабжает формализованные знания семантическими интерпретациями. Технологии экспертной оценки знаний, событий объектов нами довольно детально описаны в работе [3]. Алгоритмическая же верификация знаний предполагает построение системы фреймов, алгоритмов. Она может быть осуществлена, например, отображением модели знания K_n на большие данные. При этом следует иметь в виду, что такое отображение может использоваться только для построения формализуемых денотативных семантик, при построении которых необходимо позаботиться об обеспечении качества данных [4]. Не случайно ведутся исследования, название которых подтверждают актуальность темы качества данных, а именно, «темные данные» [5], «грязные данные» [6]. Например, к грязным данным относят данные, содержащие ошибочную информацию. При этом полное удаление грязных данных из источника нецелесообразно или практически невозможно. В этой связи все более актуализируется вопрос очистки данных, см., например, работу [7]. В работах по качеству данных акцентируется внимание на таких аспектах, как:

- необходимые данные в массиве отсутствуют,
- система или человек могут даже не знать, что им не хватает данных,
- неправильная оценка критических аспектов выборки и обработки данных,
- данные могут быть неточными и вводить в заблуждение,
- изменение данных и их значений во время обработки и др.

Поэтому критически важным является качество данных и информации, характеризуемое: актуальностью, достоверностью, интерпретируемостью, простотой восприятия и возможностью преобразования в другие формы, информационная безопасность. От этого качества во многом зависит результат алгоритмической верификации знаний, полнота и корректность построения оператора онтологизации.

В научных публикациях предлагаются различные типы операторов онтологизации, например: метафора, экземплификация (приведение примера), семантический примитив (генотип, кварк, космическая струна и др.), типологическая схема (таблица Менделеева, Стандартная модель в квантовой физике) и др. Предназначение оператора онтологизации состоит в получении нового знания и новых понятий, которые приближают участников научной коллаборации к достижению цели.

Для достижения цели ее необходимо поставить, она должна быть сформулирована. Однако, сначала вместо цели может быть только интуитивно осознанное направление. Так бывает при проведении фундаментальных исследований, и это формулирование может происходить в процессе исследования. Например, идеи осуществления межгалактических полетов, использование на Земле огромной энергии космических струн, мгновенная передача информации на большие расстояния—в рамках классических канонов может звучать абсурдно, но как неточные цели фундаментального исследования могут иметь место.

Таким образом, среда коллективных научных исследований и генерации открытий включает:

1. *Коллаборацию*—междисциплинарный коллектив ученых (носители понятий).
2. Искусственных интеллектуальных *агентов* (роботов, знания в системах ИИ).
3. Неточную *цель* (знания и понятия).

4. Искомый путь, представленный формализовано и онтологически (знания и понятия).
5. Контекст—внешнее окружение, события, объекты и пр., о которых есть знания и понятия.
6. Большие данные, несущие сведения и информацию о составляющих среды (знания).
7. Ограничения, определяемые научными канонами и наличными ресурсами (знания и понятия).

Все перечисленные составляющие схемы носят в целом неточный и неустойчивый характер, поэтому представляется целесообразными определить необходимые условия для обеспечения:

- сходимости состояния знаний и понятий к согласованному внутри коллаборации решению,
- обеспечения корректности и полноты полученного решения.

Принимая во внимание, что понятия не формализуются, для создания таких условий предложено использовать такие абстрактные области математики, как теория категорий, которая изучает свойства отношений между математическими объектами, не зависящие от внутренней структуры объектов. Абстрагирование позволяет схематизировать представления о событиях, переходить от образов и фабул к понятиям и связям между ними. Для оперирования абстракциями и понятиями может быть использован специальный конвергентный подход [8], который определяет необходимые структурные условия обеспечения целенаправленности и устойчивости коллективных процессов принятия решений при неточности, носящих обратный характер, то есть обеспечивающих поиск путей для достижения неэкстраполируемых из прошлого опыта и ретроспективных знаний целей. Такой подход требует оперирования следующими составляющими:

- Пространство формализованных знаний $\{K_n\}$ с их оценками $E(K_n)$, где $n=1, \dots, \infty$ номер знания и соответствующей оценки, неформализуемых понятий пространства когнитивной семантики $\{T_n\}$ и пространства денотативных семантик формализуемых объектов и событий $\{M_n\}$, которые являются Хаусдорфово отделимыми.
- Конечное множество неточных целей и подцелей, представленных как *and subgoals represented* как взвешенное иерархическое дерево $G \in \{K_n\}$, где $n=1, \dots, N$ номера целей и подцелей с их оценками $E(K_n)$, которые соответствуют $\{T_n\}$ and $\{M_n\}$ (целенаправленность).
- Пространство контролируемых коллаборацией интеллектуальных и материальных ресурсов (Система S) для достижения целей—бесконечное множество знаний $\{K_n\}$, за исключением множества целей G —с их оценками $E(K_n)$ и соответствующих этим оценкам $\{T_n\}$ и $\{M_n\}$ —должны быть представлены конечным числом подмножеств, которые покрывают это множество ресурсов (Компактное пространство).
- Контекст— бесконечное внешнее множество знаний K_n за исключением множества целей G и системы S с их оценкой $E(K_n)$ и соответствующих этим оценкам множеств $\{T_n\}$ и $\{M_n\}$.
- Онтологический оператор $O(S, C, \{M_n\}, \{T_n\})$, который служит для создания знаний K_n с их оценками $E(K_n)$ из контекста C , пространств когнитивной T_n и денотативной M_n семантик и для представления процессов принятия решений, которые трансформируют одно состояние системы S и целей $G \{K_n, M_n, T_n, E(K_n), G_n\}$, где $n=1, \dots, \infty$, в другую $\{K'_n, M'_n, T'_n, E(K'_n), T'_n\}$ в направлении достижения целей G (замкнутый график отображения системы S на множество целей G).

Используемые при трансформации состояний правила и условия обеспечивают необходимые условия для целенаправленности и устойчивости процессов принятия решений.

3 Практическая реализация

В настоящее время формализованная часть процесса онтологизации знаний различными разработчиками доведена до уровня компьютерных программ, в том числе имеющими коммерческое распространение. С учетом этих программных продуктов основные положения инструментально-онтологических инструментов применительно к процессам теоретического исследования и научного творчества могут иметь следующую реализацию (что может быть осуществлено на основе модернизации уже используемых в реальном секторе экономики программных систем):

- Свойства $E(K_n)$ определяют объект M_n или понятие T_n , о котором есть знание K_n , находящийся в контексте C . Объекты на основании свойств объединяются в классы (класстеризуются), создавая тем самым условия для обеспечения компактности пространства знаний.
- Объекты, знания и понятия вступают в отношения. Эти отношения могут быть причинно-следственными или ассоциативными. В первом случае отношение может быть описано

математической логикой, во втором—пересечением классов или множеств свойств, а также экспертными комментариями. В первом случае классы могут иметь иерархическое построение, тогда родовидовые отношения помогают определить семантику объекта.

- Свойства объектов, знаний, понятий и их отношений, с одной стороны, имеют ограничения, а с другой, могут наследоваться, причем, эти ограничения и наследования могут носить как формализованный, так и неформализованный характер.
- Объекты существуют в рамках пространства и времени, при этом число степеней свободы их пространственно-временной репрезентации может быть бесконечным, например, это может быть пространство Минковского или Гильбертово.
- Изменение любых значений пространственно-временной репрезентации может осуществляться дискретно и непрерывно во времени.
- Совокупность всех значений свойств/отношений/ограничений на определенный дискретный момент времени формирует состояние всей системы знаний—синхронный временной срез.
- Синхронный временной срез должен характеризоваться системой оценок, включая оценку каждого значения, так и всей совокупности значений, соответствующих этому срезу (функция качества).
- Правила онтологии, ее ограничения и система оценок определяет возникшую ситуацию и требуют принятия решений, причем при этом должна решаться обратная задача, например, с помощью генетического алгоритма, предлагая возможные варианты ближайшего шага (шагов) решения с более высокой оценкой функция качества.
- Коллективная оценка и выбор решения ведет к переводу состояния $\{K_n, M_n, T_n, E(K_n)\}$, where $n=1, \dots, \infty$, to another $\{K'_n, M'_n, T'_n, E(K'_n)\}$ с более высокой оценкой функция качества.

В процессе накопления опыта и обучения искусственных интеллектуальных компонентов системы могут быть получены приемы снижения сложности процессов, такие как:

- минимизация числа объектов,
- контролируемые классификаторы, фреймворки, словари и тезаурусы,
- сквозные приложения: интерфейсы, меню, диалоги, представления и др.

В течение 30 лет конвергентный подход используется автором для ускоренного коллективного построения стратегий в государственном и корпоративном секторе экономики. Для этого разработана технология проведения стратегических совещаний в ситуационных центрах, которая построена на основе использования таких методов, как:

- стратегического анализа ситуации с оценкой факторов, получаемых в результате проведения проблемных мозговых штурмов (таких факторов может быть порядка 100);
- когнитивного моделирования, обеспечивающего стратегический прогноз по нескольким качественным (понятийным) факторам;
- генетических алгоритмов и методов квантовой семантики, обеспечивающих учет «теневых» мнений участников, возможность учета в моделировании парадоксальных смыслов, осуществлять прогнозирование и моделирование при отсутствии ретроспективных, основываясь только на знаниях экспертов;
- решения некорректных задач в топологических пространствах, теории катастроф, фундаментальной термодинамики, квантовой семантики;
- латентного синтеза решений, использующего, помимо контекста сообщений участников, данные о трафиках электронных сообщений при взаимодействии;
- социологических исследований, фокус-групп и глубинных интервью;
- статистического моделирования и прогноза и др.

Порядок проведения стратегического совещания включает следующие этапы:

- Формирование иерархии целей решения проблемы.
- Выявление внешних и внутренних факторов, характеризующих ситуацию.
- Выявление факторов, характеризующих внутренние возможности группы.
- Формулирование приоритетного перечня проблем, препятствующих достижению целей.
- Формирование перечня перспективных направлений действий.
- Оценка приоритетов перспективных направлений с учетом влияния выявленных факторов на развитие ситуации.
- Подготовка рекомендаций и дорожной карты.

В стратегическом совещании может принять участие до 35, несколько модераторов. Оно может проводиться в трех режимах:

- непосредственное нахождение участников в одном здании, зале или помещении;
- сетевое участие территориально распределенных участников;
- смешанный режим, когда одна часть участников находится в одном помещении, а другая - доступна по каналам связи.

4 Дискуссия

К дискуссионным вопросам стоит отнести, прежде всего, целесообразность ускорения процесса целенаправленного коллективного научного творчества, который должен привести к открытиям в междисциплинарной среде, а также выбор примера задачи для его реализации. Относительно первого вопроса интерес представляет дополнительная практическая апробация предложенного онтологического подхода, которая может быть проведена на некотором примере, остается проблемной сторона подбора релевантных данных и их очистка. К перспективным вопросам можно отнести построение когнитивных семантик моделей искусственного интеллекта с использованием квантовых семантик, теории поля, релятивистских особенностей среды и другим неклассическим аспектам построения когнитивных семантик, приведенных в книге [8].

Современные системы ИИ могут распознавать образы, прогнозировать развитие ситуации на основе экстраполяции ретроспективных данных и отвечать на простые вопросы. Но им недоступно человеческая способность интуитивно принимать мгновенные решения, чувство, понимание, объяснение и постановка проблем. Человек способен принимать правильные и одновременно, казалось бы, беспричинные решения. Он может проводить коллективные исследования и делать постановку сложных задач, что пока недоступно для современных систем ИИ.

В качестве перспективной задачи может стоять, например, следующая. Приведем пример из физики, отражающий длящийся уже порядка 85 лет процесс онтологизации. Столкнувшись с непониманием и противоречивостью ряда явлений в квантовой физике, ученые поставили вопрос о ее корректности и полноте [9]. Корректность теории может быть оценена по уровню соответствия данных теории и эксперимента. Полнота теории отражает широту ее охвата: каждый элемент физической реальности должен быть отражен в теории.

К недостаточно полно и корректно представленным явлениям относились, например, такие, для которых работал принцип неопределенности Гейзенберга (невозможность одновременно точно измерить момент и координату частицы), или, уравнение Шредингера не может объяснить спонтанную эмиссию, не вписывается в теорию поведение сцепленных частиц (нелокальность, мгновенная синхронизация состояний разделенных в пространстве частиц). В 1935 году, когда была опубликована упомянутая статья, на эти вопросы не было получено ответа, отчасти потому, что не было технической возможности проверить результаты «умственного эксперимента».

В 1964 году была сделана попытка объяснения эффекта нелокальности путем введения в процесс смены состояний сцепленных частиц дополнительного параметра [10]. Идея квантовой нелокальности была описана математически, однако она также не была экспериментально подтверждена из-за отсутствия необходимой технической возможности, хотя было показано, как эту возможность реализовать, например, с использованием человеческой способности «свободы воли» для независимой генерации случайных чисел.

В 2018 году [11] появилась такая возможность, и тест Белла был реализован экспериментальным путем. Было проведено испытание, которое позволило сравнить экспериментальные наблюдения с теоретическим утверждением местного реализма. Было экспериментально подтвержден эффект нелокальности и опровергнут классический научный тезис, что ни один сигнал не распространялся быстрее света. В эксперименте была реализована идея использования краудсорсинга с участием около 100 000 человек, которые с помощью сетевых технологий геймификации продемонстрировали, что результаты эксперимента сильно противоречат локальному реализму в широком спектре физических систем и показали, что независимость от параметров измерения находится в полном противоречии с причинным детерминизмом.

Заключение

Коллективная научная мудрость—это способность коллективно понять и выразить природную истину или сделать научное открытие в хаосе мыслей и действий. Мудрость требует учета и контроля эмоций и учета коллективного бессознательного. Стратегическое научное совещание, мозговой штурм—можно рассматривать как примеры процедур, стимулирующие и целенаправленно упорядочивающих групповую мудрость. Для ускорения таких процедур используются ситуационные центры, конвергентные мозговые штурмы, когнитивное моделирование и др. Когнитивная наука исследует взаимосвязь между мудростью коллектива и индивидуальным познанием, создает на основе этого когнитивные модели.

При этом для большой группы индивидуальные суждения могут быть смоделированы с помощью оценки вероятностного распределения ответов. Однако вероятностная оценка далеко не всегда хорошо коррелирует с практикой, ибо реальная практика погружает человека в бесконечномерное пространство физического, душевного и духовного мира, что явно не может быть охвачено теорией.

В связи с этим создание открытий в междисциплинарной коллаборативной среде сейчас можно рассматривать как актуальную задачу. Трудность создания такой среды состоит в том, что участники имеют различные цели, знания и опыт, а общая цель мало понятна. Встает резонный вопрос: при каких условиях группа ученых будет более быстро порождать гениальные идеи и делать открытия?

На этот вопрос помогает получить ответ, приведенный в настоящей статье подход к конвергентной онтологизации научного творчества с подключением продвинутого ИИ. Этот подход основывается, прежде всего, на приложении методов решения обратных задач в топологических пространствах к групповому творческому процессу, а также использовании когнитивных семантик, учитывающих особенность механизмов человеческого мышления на атомарном уровне [8]. В настоящее время конвергентный подход используется в качестве методического базиса коллективной разработки стратегий социально-экономического развития субъектов планирования, например при проведении стратегических совещаний в ситуационных центрах.

Настоящая статья инициирует использование конвергентного подхода для стимулирования коллективной мудрости в области решения сложных научных проблем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 21-18-00184 «Социогуманитарные основания критериев оценки инноваций, использующих цифровые технологии и искусственный интеллект».

Литература

1. *Rumelhart D.* Notes on a schema of stories. Representation and understanding. Ed. D.C. Bobrov, A. Collins. N.Y. etc.: Acad. press. 1975, 401 p.
2. *Lehmett W.G.* Plot units and narrative summarization. *Cognit. Sci.* Vol. 4, 1981, pp 293-331
3. *Gubanov, D., Korgin, N., Novikov, D., Raikov, A.* E-Expertise: Modern Collective Intelligence. Springer. Series: Studies in Computational Intelligence, Vol. 558, XVIII, 2014, 112 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06770-4>
4. ISO/IEC 25012:2008 Software engineering — Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Data quality model
5. *David J. Hand.* Dark Data. Princeton University Press. Princeton and Oxford. 2020. 330 p.
6. Dirty Data. <https://www.techopedia.com/definition/1194/dirty-data>
7. *Raikov A.N., Avdeeva Z., and Ermakov A.* Big Data Refining on the Base of Cognitive Modeling. Proceedings of the 1st IFAC Conference on Cyber-Physical&Human-Systems, Florianopolis, Brazil. 2016. pp. 147-152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.205>
8. *Raikov A.* Cognitive Semantics of Artificial Intelligence: A New Perspective. Springer Singapore, Topics: Computational Intelligence XVII, 2021, 128 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-33-6750-0>
9. *Einstein, A. Podolsky, B., and Rosen, N.* Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complet? *Phys. Rev.*, 1935, 47:777-780
10. *Bell J.S.* On the Einstein Podolsky Rosen paradox. *Physics*, 1964, 1(3):195-200.
11. *The BIG Bell Test Collaboration.* Challenging local realism with human choices. *NATURE*, 2018, 557:212-220 <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0085-3>