

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В СВЕТЕ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ

А. Р. Дабагов
ЗАО «Медицинские Технологии LTD»

Статья получена 16 мая 2014 г.

Аннотация. В обзоре [1] был отмечен ряд проблем, возникающих при разработке и построении интегрированных медицинских систем. В настоящее время, в связи с быстрым развитием технологий, в медицинской информатике создаются достаточно сложные стандарты, которые должны быть взаимоувязаны с другими документами – списками, тезаурусами, онтологиями и др. В значительной мере это касается интернационализации (локализации) систем и их выходных данных. В данной статье рассматриваются некоторые проблемные вопросы.

Ключевые слова: медицинская информатика, стандартизация, интернационализация, проблемы представления и обработки данных.

Abstract. In the review [1] there have been a number of problems arising in the design and development of integrated health systems. Nowadays, with the rapid development of technologies in medical Informatics are complex standards, which should be linked to other documents - lists, thesauri, ontologies, and other significant extent it concerns the internationalization (localization) of the systems and their output. This article discusses some urgent problems.

Keywords: medical Informatics, standardization, internationalization, problems of representation and processing of data.

Введение.

В середине 1950-х г.г. возникла потребность в высокостабильной сети передачи данных, сохраняющей работоспособность при выходе из строя части ее узлов. Задача была поставлена перед корпорацией RAND, где был

разработан проект сети с пакетной передачей данных. В то время этот проект по некоторым причинам провести не удалось, но после создания в США агентства ARPA десятилетие спустя работы в этом направлении возобновились. Как оказалось, подобная экспериментальная сеть уже была построена в Англии, чем была доказана возможность (и перспективность) таких сетей.

Поставив задачу добиться связности гетерогенных систем, DARPA финансировала исследования с целью создания ряда протоколов связи. Их результатом был комплект протоколов Internet (конец 1970-х), из которых наиболее известными являются Transmission Control Protocol (TCP) и Internet Protocol (IP).

Протоколы определяются в документах, называемых Requests for Comments (RFC (Запросы для комментариев). RFC публикуются, а затем рецензируются и анализируются специалистами по Internet. Уточнения к протоколам публикуются в новых RFC. Взятые вместе, RFC собственно и показывают, как формировалась история разработки комплекта протоколов для открытой системы, являющейся на сегодня основой всемирной сети Интернет, без которой функционирование современного общества, его инфраструктур уже является совершенно невозможным. Более подробно материал можно посмотреть в [2].

Составной частью работ, охватывающих общую область стандартизации информационных технологий, является функциональная стандартизация, включающая базовые стандарты, определяющие основополагающие и общие процедуры, профили, которые определяют соответствующие подмножества или комбинации базовых стандартов, предназначенные для обеспечения конкретных функций и устанавливающие правила применения конкретных вариантов, описанных в базовых стандартах, создающие тем самым основу для разработки унифицированных, международно-признанных аттестационных тестов, а также механизмы регистрации, обеспечивающие средства для конкретной уточненной параметризации на основе базовых стандартов и профилей. Целью данного процесса является установление технических

требований к системам информационных технологий, обеспечивающих высокую степень их взаимодействия и переносимости компонентов данных систем [3].

Последнее не всегда бывает достижимо; в процессе практической работы; (к счастью, довольно редко) приходится сталкиваться с некоторыми случаями несоответствия заявляемым стандартам (в т.ч. стандартам шифрования) и/или несовместимостью продукции от различных производителей. Иногда также случается, что изделия полностью соответствуют заявляемым стандартам и протоколам приема-передачи данных, однако имеют разную восприимчивость к некоторым видам помех (в данном случае имеется в виду передача по радиоканалу). Вообще, по нашему мнению, единственный способ избежать подобных неприятностей – это полагаться на надежных вендоров.

Разработанная фирмой IBM сетевая архитектура SNA (System Network Architecture) стала основой предложенной ISO/IEC общеизвестной 7-уровневой модели взаимодействия открытых систем OSI. Все эти уровни применялись и применяются далеко не всегда, для нас здесь важно лишь отметить, что система строится иерархически.

Итак, де-факто система Интернет построена и существует в мировом масштабе. Наша же задача, некоторые проблемы которой мы хотим рассмотреть здесь, несколько специфическая: использовать достижения в области информационных технологий для области медицинской информатики, строя специализированные сети и центры (не обязательно глобальные) для интеграции медицинских систем и предоставления всевозможных услуг информационных технологий различным предприятиям, работающим в медицинской сфере. Здесь, несмотря на уже достигнутые значительные успехи, имеются и существенные трудности, отчасти также имеющиеся и в других областях ИТ.

Вообще, возможен ли, хотя бы в принципе, единый системный подход к построению достаточно сложных ИТ - систем вместе с их необходимыми компонентами? Или же, как и в ряде других областей знания, единого подхода

к решению этих проблем может не существовать (к этому вопросу мы вернемся ниже).

Особенности различных программно-аппаратных платформ требуют большого внимания к вновь внедряемым стандартам (практически то же самое можно сказать и о проблемах локализации стандартов и платформ). Относительно недавно, например, наметилось известное противостояние между системами основанными на разных стандартах, EMR и OpenEHR [4].

По мнению многих разработчиков, надежно работающие стандарты могут быть разработаны только тогда, когда сообщество, для которого они предназначены, имеет значительный опыт и хорошее понимание того, что именно они пытаются стандартизировать, и эти условия, по логике, не могут быть выполнены на инновационных или ранних стадиях работ.

Процесс принятия стандартов по своей природе основан на консенсусе, или по крайней мере значительной заинтересованности между партнерами, и трудно (и редко желательно) вводить стандарты там, где еще не достигнута широкая степень согласия. Самое подходящее время для принятия стандарта, это когда стихает активная и информированная оппозиция. Подход можно проиллюстрировать на основе сети Интернет, где основные «стандарты» именуемые «запрос для комментариев» (RFC), давно стали стандартами де-факто и никто не чувствует необходимости в их переделке либо «улучшении».

Попытки навязать стандарты, по которым не достигнут широкий консенсус, неизбежно терпят неудачу. И, хуже того, замедляют реальный процесс принятия стандартов¹.

Проблемы локализации.

Известно, что стандарты и многие приравняемые к ним документы должны быть переводимы максимально точно. Для ряда документов это, по видимому, и невозможно. Так, один из постулатов Л. Витгенштейна гласит: «Границы моего языка определяют границы моего мира»² (отметим, также и

¹ По материалам Woodcote Consulting.

² Л. Витгенштейн. Логико-философский трактат.

того, что я могу знать и видеть в мире – авт.)». И это является основной причиной возникающего местами непонимания между людьми, говорящими на одном и том же языке (!), поскольку тезаурусы разных индивидов, как правило, имеют отличия. Тем более различаются тезаурусы разных языков. Также процесс изменения происходит и с течением времени, что следует, в частности, из [5]. Ускорение технического прогресса в различных областях часто приводит к переобозначениям слов, возникновению научных «жаргонов», понятных только для узкого круга специалистов. Так, в [6] отмечается, что «существующие бытовые и профессиональные языки быстро становятся непригодными и их семантическая реконструкция бесперспективна, что тексты в книгах и других носителях текстов являются преградой социального развития из-за их семантической неоднозначности, неконструктивности и неоперационности». Доходит до того, что в больших словарях какой-либо специальный термин может быть переведен, среди прочего, прямо противоположными значениями.

Тезаурусный подход в научных исследованиях имеет богатую предысторию. В лингвистике греческим словом тезаурус (запас, сокровищница) уже давно обозначается смысловое многообразие лексических единиц, представленное через систему семантических отношений, создающих семантические поля. Тезаурус - это особый тип словаря – идеографический, формирующий семантическое пространство (включает все семантические поля) синее (словарных единиц). С распространением основных идей теории информации (К. Шеннон, Н. Винер, А. Колмогоров и др.) во второй половине XX в. понятие «тезаурус» укоренилось в научных направлениях, изучающих и моделирующих информационные системы. [7]³.

В качестве примера можно привести «русский тезаурус» [8]. Опять же, отметим, что он организован иерархически (кроме того приведенный документ ни в коем случае нельзя считать исчерпывающим).

³ Отметим, что некоторая проблема, не формализуемая в к-л данном тезаурусе, *может* быть формализована в другом, более мощном тезаурусе.

Отметим, что тексты, записанные на различных формализованных языках (в математических символах, алгоритмических языках и нек. др.) понимаются вполне однозначно. Итак, интересующая нас информация должна быть по возможности представляема в формализованном виде, облегчающем как ее понимание, так и обработку. Возникает вопрос о существовании (разрешимости) алгоритмов, с помощью которых мог бы быть выполнен ряд подобных работ.

Как отмечают некоторые авторы, работа над многими онтологиями продолжается уже в течение ряда лет, в основном в области разработки BFO (Basic Formal Ontology) OBO (Open Biological and Biomedical Ontologies), которые используются для улучшения работы вычислительных систем в области здравоохранения [9]. BFO является основной формальной онтологией, а OBO является открытой биологической и биомедицинской онтологией. Эти наработки в настоящее время используются, чтобы улучшить структуру верхнего уровня SNOMED CT. Отмечается, что OpenEHR–архетипы создаются быстрыми темпами, и их классификация и внутренняя структура не так строго увязаны, как они должны быть. Последнее может повлиять на корректность реализации вычислительных процедур. IAO (Information Artifact Ontology) пытается заполнить «пробелы» в том, что можно назвать «онтологиями реальности», путем определения «онтологии информации» Это правильный подход также для оценки качества онтологии openEHR (см. напр. [4])

Однако для того, чтобы корректно работать со столь сложными словарями, например, чтобы построить структуру онтологии, провести их сравнение и др., необходим некий алгоритмический инструментарий. И, вообще говоря, вопрос, до какой степени можно автоматизировать процесс получения удовлетворительных решений, остается, на наш взгляд, открытым.

Итак, перед нами вырисовывается ряд проблем. Не все они еще (в должной мере) решены, и не по всем из них достигнут общий консенсус. Некоторые из них мы перечислим.

1. Проблемы исследования массивов документов на совместимость и

непротиворечивость.

2. Проблемы унификации и локализации объемных данных (баз данных, баз знаний, словарей, списков, тезаурусов и др.

3. Проблемы выработки методов решения и их алгоритмической поддержки.

4. Проблемы существования решения в той или иной постановке задачи.

5. Проблемы (вообще говоря, системные) объединения в базах знаний медицинской (по различным вопросам), биологической и некоторой иной документации с возможностью: а) однозначной интерпретации, б) согласованного введения изменений (при необходимости).

6. Проблемы разработки и создания сложных интеллектуальных систем поддержки.

Круг этих вопросов непосредственно затрагивает проблемы оснований математики, математической логики, логических исчислений, теории функций и алгоритмов, некоторые специальные вопросы и др. Некоторое общее впечатление о проблематике можно получить в [10]. В данной работе рассматриваются, в частности, история становления логики, исчисление высказываний и предикатов 1-го порядка (логика 1-го порядка допускает только квантификацию однотипных объектов, например, принцип равенства Лейбница $a = b$ может быть записан как

$$\forall P(P(a) \equiv P(b)).$$

Если квантификация, явно или неявно, записана так, что в область действия одного квантора попадают переменные разных типов, логическое выражение будет порядка выше 1-го, что может приводить к парадоксам, см.[10], Парадоксы (Гл. 3). Проблема парадоксов привела, прежде всего, к существенному повышению интереса к проблемам логики, разработке теории типов, теории логик порядка выше 1-го и некоторым другим теоретическим конструкциям.

Массовые проблемы, неразрешимые алгоритмические проблемы.

Долгое время оставался открытым естественный вопрос: являются ли

неразрешимые алгоритмические проблемы специфическими для теории алгоритмов и математической логики? Или, существуют ли неразрешимые алгоритмические проблемы в традиционных разделах математики, далеких от математической логики? Первый результат такого рода был получен в 1947 независимо друг от друга А. А. Марковым и Э. Л. Постом. В формулировке Клини [10] данный результат формулируется так: Допустим, что дан конечный список $(A_1, B_1, \dots, (A_n, B_n))$ ($n > 1$) пар слов; назовем этот список словарем. Мы будем говорить, что два слова R и S непосредственно эквивалентны (относительно данного словаря), если R и S имеют соответственно вид UA_iV и UB_iV или UB_jV и UA_jV для некоторых слов U и V и пары (A_i, B_i) ($1 \leq i \leq n$); другими словами, если R преобразуемо в S заменой некоторой части A_i на соответствующее по словарю слово B_i , или наоборот. Мы будем называть два слова P и Q эквивалентными (относительно данного словаря), если имеется конечная последовательности слов R_1, \dots, R_l ($l \geq 1$), такая, что R_1 совпадает с P , R_l совпадает с Q , и R_{t-1} непосредственно эквивалентно R_t ($t = 2, \dots, l$);

(Общая) проблема (Туэ, 1914), – найти алгоритм для решения, при произвольно данных алфавите и словаре, вопроса о том, являются ли два данных слова эквивалентными. Эта проблема известна также как проблема эквивалентности слов, или проблема тождества для полугрупп.

(теорема XXXI) [10] с.338. Проблема тождества для полугрупп неразрешима – более того, имеются такие конкретные алфавит и словарь, что не существует алгоритма для решения, эквивалентны ли (относительно этого словаря) два произвольных слова (в этом алфавите).

Таким образом, не все алгоритмические проблемы могут быть разрешимыми. Здесь мы не затрагиваем вопроса о практической разрешимости, т.е. получения решения за разумное время (сложность алгоритмов).

К одним из наиболее интересных теорем, значение которых, по мнению многих, выходит далеко за пределы собственно математики, относятся теоремы Гёделя о неполноте. Заметим, что их различные формулировки и доказательства приводятся у многих авторов и констатируют некоторые

ограничения, присущие всем «достаточно сложным» формальным системам, достаточным для описания арифметики.

Первую теорему можно сформулировать так: «Для произвольной непротиворечивой формальной вычислимой теории Th , в которой можно доказать базовые арифметические высказывания, может быть построено базовое арифметическое высказывание, не доказуемое в рамках данной теории». Иными словами, достаточная для представления арифметики (т.е. удовлетворяющая аксиомам Пеано) теория не может быть одновременно непротиворечивой и полной.⁴ На сегодня эта теорема более известна в формулировке Россера (см. у Клини, с.274)

Вторая теорема Гёделя может быть сформулирована следующим образом:

«Для любой формально рекурсивно перечислимой (то есть эффективно генерируемой) теории Th , включая базовые арифметические истинностные высказывания и определённые высказывания о формальной доказуемости, данная теория Th включает в себя утверждение о своей непротиворечивости тогда и только тогда, когда теория Th противоречива».

Некоторые дискуссионные вопросы.

Итак, если любая достаточно богатая формальная теория непротиворечива, то она не является полной, т.е. на некоторые вопросы мы можем попытаться получить ответ (пусть приближенный, в рамках модели, формулируемой в границах некоторой другой теории). Так оно обычно и делается, в большинстве случаев мы можем получить удовлетворительные ответы на поставленные вопросы. Однако до недавнего времени существовало убеждение, что конкретную формальную науку можно построить исходя из некоторой суммы общих принципов, сделав ее в нашем смысле полной. Теперь же из формулировки теоремы 2 следует, что если эта теория будет полна, то она окажется противоречивой.

Отметим, что теоремы Гёделя, равно как и следствия из них,

⁴ Т.е. можно доказать $F \vdash \neg F$. Наоборот, в противоречивой теории, как известно, любое утверждение является ее теоремой (прим. авт.).

неоднозначно воспринимаются научным сообществом (см. напр. [11] с.16, с. 352 и далее).

В телелекции (2003 г.), прочитанной Стивенем Хокингом (Stephen Hawking) для слушателей нескольких аудиторий Массачусетского технологического института (MIT), описывался проводимый учеными поиск полной теории Вселенной. В заключение С.Хокинг предположил, что «вероятно, полная теория невозможна». < >. «Все теории, развиваемые до настоящего времени для того, чтобы объяснить Вселенную, являются либо противоречивыми, либо неполными», - заявил Хокинг. И предположил, в силу каких обстоятельств невозможно в принципе развить одну полную теорию Вселенной. Свою аргументацию он основывал на работах Курта Гёделя, включая его известные теоремы о неполноте. "Некоторые люди будут сильно разочарованы, узнав, что окончательной теории нет», - сказал Хокинг. – «Я тоже принадлежал к этому лагерю, но теперь я передумал. Мы будем всегда иметь дело с вызовом со стороны новых научных открытий. Без этого цивилизация будет застаиваться. Поиск можно продолжать очень долго» (см. также [12] с. 187 (модель Вселенной Гёделя).

Стоит отметить, что за ряд последних лет неоднократно высказывалось мнение, что реальность универса (или мультиверса, как иногда модно говорить) не является в принципе классической, что порождает известные проблемы как в математике (логике), так и физике (известный тезис Чёрча-Тьюринга-Дойча [13] см. также [14]. Более полного списка литературы мы не приводим, поскольку маловероятно, что эти вопросы могут быть разрешаемы в обозримом будущем.

И, наконец, о теории систем. В эпоху интенсивного развития системного подхода один из его апологетов, Кеннет Боулдинг, озаглавил одну из своих работ «Общая теория систем – скелет <развития> науки» [15]. Так это или нет, но теория систем решает различные задачи, используя различные же подходы. Что мы и видим, например, в таблице «Этапы решения проблем» [16].

Таблица 1.

По С.Л. Оптнеру	По С. Янгу	По Н.П. Федоренко	По С.П. Никанорову	По Ю.И. Черняку
1.Идентификация симптомов 2.Определение актуальности проблемы 3.Определение целей 4.Определение структуры системы и ее дефектов 5.Определение возможностей 6.Нахождение альтернатив 7.Оценка альтернатив 8.Выработка решения 9.Признание решения 10.Запуск процесса решения 11.Управление процессом реализации решения 12.Оценка реализации и ее последствий	1.Определение цели организации 2.Выявление проблемы 3.Диагноз 4.Поиск решения 5.Оценка и выбор альтернативы 6.Согласование решения 7.Утверждение решения 8.Подготовка к вводу в действие 9.Управление применением решения 10.Проверка эффективности	1.Формулирование проблемы 2.Определение целей 3.Сбор информации 4.Разработка максимального количества альтернатив 5.Отбор альтернатив 6.Построение модели в виде уравнений, программ или сценария 7.Оценка затрат 8. Испытание чувствительности решения (параметрическое исследование)	1.Обнаружение проблемы 2.Оценка актуальности проблемы 3.Анализ ограничений проблемы 4.Определение критериев 5. Анализ существующей системы 6.Поиск возможностей (альтернатив). 7.Выбор альтернативы 8.Обеспечение признания 9.Принятие решения (принятие формальной ответственности) 10.Реализация решения 11. Определение результатов решения	1.Анализ проблемы 2.Определение системы 3.Анализ структуры системы 4.Формулирование общей цели и критерия 5.Декомпозиция цели, выявление потребности в ресурсах, композиция целей 6.Выявление ресурсов, композиция целей 7.Прогноз и анализ будущих условий 8.Оценка целей и средств 9.Отбор вариантов 10. Диагноз существующей системы 11.Построение комплексной программы развития 12.Проектирование организации для достижения целей

Исходя из всего сказанного выше мы, вообще говоря, не можем однозначно утверждать (в пределе, это вообще бессмысленно), чей подход лучше. Разные задачи - разные способы решения, различные теоретические подходы.

О новых и старых подходах.

В своей новой книге «Введение в аппарат ступеней множеств» [6] С.П.Никаноров отмечает, что «Многие конструкты теории систем стали нормой стандартов ISO. Однако, из-за неподготовленности математического аппарата и интуитивного страха перед сложностью с середины — конца 80-х годов XX века развитие теории систем прекратилось»⁵. В качестве примера приводится универсальный язык моделирования (UML), не содержащий в себе явно введенных конструкций теории систем и применяемый также для создания

⁵ Мы полагаем сущность этих причин в ином (также системном) контексте, и что причины этих проблем достаточно прозрачны и понятны соответствующим специалистам (авт.) Опять же, цитируя Никанорова, «в сложившемся положении вещей никто не виноват».

систем медицинского назначения.

В то же время, как мы видим, сложность насущных проблем отнюдь не уменьшилась. Как уже давно сформулировано и доказано, ресурсная база не является сама по себе некоторой константой, а всего лишь производной от накопленной базы знаний и технологий. Однако бывает, что старые и уже полузабытые решения вновь оказываются на повестке дня, так например, структуры в виде сбалансированных В-деревьев, использовавшиеся ранее в некоторых базах данных, возвращаются обратно в структурах новейших файловых систем (В и В+ деревья).

По Никанорову, «преодоление застоя в системных исследованиях (как мы надеемся) оказалось возможным лишь через 25 лет, когда в рамках концептуального научно-технического направления были предприняты первые попытки определения классических конструкторов, но неограниченной сложности, что стало возможно благодаря переходу от экспликации понятийных схем в родах структур к их экспликации в ступенях». Однако это продвижение само по себе не привело к разработке конструкторов развития и развивающихся систем. Зато этот опыт привел к пониманию срочной необходимости разработки и использования аппарата ступеней. [6]. За основу были взяты идеи из «Начал математики» Н. Бурбаки, структуры и роды структур (т.1. в русском издании [17]).

В цитированной выше статье Боулдинга предлагалось развивать и использовать системный подход к частным научным дисциплинам, поскольку все научное знание по сути своей взаимосвязанно. Именно в таком объединении частных дисциплин, в образовании «скелета», на который они нанизываются, видел К. Боулдинг уникальную роль теории систем. Так, например, известно, что наиболее значимые открытия чаще всего делаются на «стыках» наук⁶. Понятно, если время «великого объединения» еще не наступило (и наступит ли?), подобный подход имеет первостепенное значение.

⁶ И столько же, если не больше, принципиально важных открытий теряются.

Аппарат ступеней является принципиально новой математикой, предметной областью которой являются разнообразия и их отношения⁷. Математическая разработка аппарата ступеней только начинается. В [6] приведены варианты таких аппаратов. Однако уже сейчас можно видеть, какой ряд интересных и важных научно-технических проблем можно было бы решить пользуясь этой методологией.

Для наших конкретных целей, описываемые в [6] методики годны для работы с иерархическими структурами, и нам вполне достаточно того, что эти методики хорошо подходят для решения проблем медицинской информатики. Несмотря на их относительную сложность (в смысле затрат ресурсов и времени), мы имеем основания считать данные методики более перспективными по сравнению с другими.

Заключение.

Представляется невыгодным расплывать ресурсы, развивая недостаточно обоснованные и/или неперспективные подходы.

Более логично применять современные и всесторонне обоснованные методы. Последнее также будет способствовать лучшей интеграции программного обеспечения и достоверности получаемых результатов.

В связи со сложностью возникающих задач, проблемы локализации в больших интегрированных системах, по всей видимости, будет затруднительно разрешить в обозримом будущем. Другими словами, более легкий путь это полагаться на отечественные разработки, и со временем можно будет обеспечить достаточную «открытость» таких систем.

В то время, пока перспективные решения не разработаны и не апробированы, применять может быть более простые, но проверенные решения.

⁷ Вообще говоря, как экстенциональные, так и интенциональные.

Литература

1. Дабагов, А. Р. Информатизация здравоохранения и некоторые проблемы построения интегрированных медицинских информационных систем. Журнал Радиоэлектроники, изд. ИРЭ РАН, М., 5 2011 г., стр. 1-57.
2. Найк, Дилип. Стандарты и протоколы Интернета. перев. Microsoft Corp: изд. ТОО "Channel Trading LTD", Русская редакция, . М., 1999. стр. 384 С. ISBN 5-7502-0102-3.
3. Международная организация по стандартизации (ISO). ISO/IEC TR 10000-3: Information technology - Framework and taxonomy for International Standardized Profiles - Part 3: Principles and Taxonomy for OSE Profiles. 1998 г. 10 с.
4. Beale, Thomas. openEHR to ISO 13606-1, ISO 21090 mapping. <http://www.openehr.org/wiki/dashboard.action>. [В Интернете] [Цитировано: 4 2 2012 г.] <http://www.openehr.org/wiki/display/stds/openEHR+to+ISO+13606-1%2C+ISO+21090+mapping>.
5. Налимов, В. Вероятностная модель языка. Томск : Водолей Publishers, 1974, 370 С. 3-е изд.. ISBN 5-902312-1.
6. Никаноров, С. П. Введение в аппарат ступеней множеств. М. : Концепт, 2010. 342 с.
7. Сороко, С. М. Тезаурусный подход к информационному пространству белорусской культуры XIX в. Вести института современных знаний, Минск, изд. ЧУО "Институт Современных знаний им. А.М.Широкова», 2, 2011 г., стр. 63-66.
8. Баранов, О. С. 1 1 2004 г. РУССКИЙ ТЕЗАУРУС. URL: <http://thesaurus.wallst.ru/> (структурированная база данных).
9. Smith, Barry, и др. The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. 11, б.м. : Nature Publishing Group, November 2007 г., Nature Biotechnology, стр. 1251-1255. <http://www.nature.com/naturebiotechnology>.

10. Клини, С. К. Введение в метаматематику. Ред. В.А.Успенский. Перев. С.А.Есенин-Вольпин. М. : ИИЛ, 1957 526С.
11. Гильберт, Д. и Бернайс, П. Математическая логика и основания математики. Т. II. Основания математики и теория доказательств. Под ред.С.Н.Адяна. Пер. с нем. Н.М.Нагорного. М. : "Наука", 1982. 652С.
12. Хокинг, С. и Эллис, Дж. Крупномасштабная структура пространства-времени. Под ред. А.Я.Смородинского. Пер. с англ. Э.А.Тагирова. М. : "Мир", 1977. . 431 С.
13. Deutsch, D. Quantum theory, the Church–Turing principle and the universal quantum computer, Proceedings of the Royal Society A, . London : Royal Society, Т. 400, стр. 97-117 (1985).
14. Качаев, И. А. Препринт 2001-12. Квантовые вычисления. Протвино : ИФВЭ, 2001 г. стр. 1-24.
15. Boulding, K. E. General Systems Theory — the Skeleton of Science. Manag. Sci. 1956 г., Т. 2, 3, стр. 197—208.
16. Перегудов, Ф.И. и Тарасенко, Ф.П. Основы системного анализа. Издание 2-е, доп. Томск, 1997. стр. 396 С. ISBN: 5-89503-004-1.
17. Бурбаки, Н. Теория множеств. Под ред .В.А.Успенского, пер.с фр. Г.Н.Поварова и Ю.А.Шихановича. М. : МИР, 1965. Т. I, 455С.