

# Информационно-компьютерная наука: технологические предпосылки становления

И.М. Зацман

(ИПИ РАН)

## Аннотация

Рассматриваются концептуальные и программные документы 7-ой Рамочной программы Евросоюза, в которых обосновывается необходимость разработки новой парадигмы создания информационных технологий будущих поколений. Анализируются идеи Горна и Шрейдера об интеграции информационной и компьютерной наук в интересах формирования единой области знаний «информационно-компьютерная наука». В статье приводится описание характерных черт этой области знаний, которая позиционируется как возможный вариант новой парадигмы. В интересах дальнейшего развития теоретических оснований информационно-компьютерной науки формулируется аксиома герметичности ее сред: ментальной, социально-коммуникационной и цифровой электронной. Анализируются примеры из медицинской информатики и компьютерной лингвистики, которые иллюстрируют роль этой аксиомы в процессе создания информационных технологий.

## 1. Введение

Необходимость фундаментального переосмысления теоретических оснований создания информационных технологий (ИТ) будущих поколений проходит «красной нитью» в концептуальных и программных документах 7-ой Рамочной программы Евросоюза [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Необходимость их переосмысления является, в частности, следствием экспериментальных исследований степени взаимосвязанности научных дисциплин, включая компьютерную науку, и патентуемых ИТ. В результате этих исследований были определены те научные дисциплины (направления научных исследований), результаты которых используются в процессе создания ИТ и других технологий. Были вычислены индикаторы взаимосвязанности, каждый из которых является интенсивностью цитирования результатов исследований одной научной дисциплины в описаниях патентуемых технологий [7].

Для европейских патентов по ИТ были получены следующие значения этих индикаторов: компьютерная наука - 4,55% (т.е. менее 5% публикаций, которые цитируются в ИТ-патентах, относятся к этой науке), ядерная физика – 2,89%, прикладная физика – 2,69%, акустика – 2,69%, биохимия и молекулярная биология – 2,27%. Для патентов США по ИТ были получены следующие значения: прикладная физика – 3,23%, компьютерная наука - 2,35%, акустика – 2,21%, оптика – 1,99%, радиология – 1,84%, биохимия и молекулярная биология – 1,71% [8].

Для патентуемых ИТ эти данные иллюстрируют несущественные отличия в доли научных публикаций для разных научных дисциплин. При этом индикаторы взаимосвязанности для компьютерной науки, являющейся профильной для ИТ, не сильно отличается от индикаторов для физических дисциплин и биохимии. Существуют небольшие отличия в региональном разрезе, например, доля научных публикаций по компьютерной науке, цитируемых в патентах США по ИТ, равна 2,35%, что на 2,2% меньше, чем доля научных публикаций по компьютерной науке, цитируемых в европейских патентах.

Кроме ИТ, аналогичные индикаторы взаимосвязанности были вычислены для технологий полупроводниковой промышленности (58,7% всех научных публикаций относятся к физике), биотехнологий (52,8% всех научных публикаций относятся к наукам о жизни), технологий химии полимеров (42,6% всех научных публикаций относятся к химии) и для других групп технологий [9]. Сопоставление значений индикаторов взаимосвязанности профильных наук с соответствующими группами технологий свидетельствует о том, что для компьютерной науки их значения, как минимум, в десять раз меньше, чем для других профильных наук. Приведенные экспериментальные данные подтверждают необходимость фундаментального переосмысления теоретических оснований создания ИТ будущих поколений, в частности, в интересах увеличения степени взаимосвязанности информационно-компьютерных научных результатов с патентуемыми техническими решениями в сфере ИТ.

В данной статье в качестве концептуальной основы переосмысления предлагается использовать идею интеграции информационной науки [10, 11] с компьютерной наукой [12, 13, 14] и формирования на этой основе единой области знаний [15]. Эта идея была предложена в 1963 г. Солом Горном [16, 17]. Похожая формулировка этой идеи была предложена Юлием Шрейдером независимо от Горна [18].

Интеграция информационной и компьютерной наук рассматривалась как основа переосмысления теоретических оснований создания ИТ в работах [19, 20]. При этом были определены общие объекты предметных областей этих наук следующим образом:

«Имеется непустое пересечение множества символьных выражений «языка» компьютерной науки и множества слов естественных языков информационной науки, являющихся знаковой информацией, то есть знаковыми формами представления знаний и главными объектами социокультурных коммуникаций. Это объектное пересечение (то есть, пересечение объектов исследования в компьютерной и информационной науках) относится одновременно к предметным областям обеих наук. Однако эти объекты в компьютерной науке трактуются и обрабатываются как абстрактное множество символьных выражений, а в информационной науке эти же объекты трактуются и обрабатываются как множества конкретных слов естественных языков ... . Для интеграции двух подходов к трактовке и

обработке этого объектного пересечения необходима новая научная парадигма информационно-компьютерной науки».

Анализ первых работ по интеграции информационной и компьютерной наук [16-18] показал, что попытки реализации идеи интеграции неизбежно требуют дать ответы на следующие вопросы:

- ✓ На каких теоретических основаниях должна строиться информационно-компьютерная наука как единая область знаний?
- ✓ В какой системе аксиом и с использованием каких терминов следует строить информационно-компьютерную науку как единую область знаний?

Таким образом, научная парадигма информационно-компьютерной науки должна включать описание ее системы терминов, аксиом и теоретических оснований. Кроме того, из них должны логически следовать существующие основания обеих наук: информационной и компьютерной.

Основная цель статьи заключается в описании одного из возможных подходов к построению теоретических оснований информационно-компьютерной науки, предложенного в работе [21], и его развитию. Этот подход представляет собой дальнейшее развитие идей Горна и Шрейдера. Их краткому обзору посвящен следующий (второй) раздел статьи<sup>1</sup>. Похожие идеи продолжают предлагаться и обсуждаться в начале XXI в. [15]. Иногда они заново формулируются в редуцированной форме и предлагаются как теоретическая основа для разработки новых информационных и конвергентных технологий. При этом работы Горна и Шрейдера, являющихся авторами фундаментальных и более общих подходов к описанию информационно-компьютерной науки, часто не упоминаются из-за их забвения.

Третий раздел статьи содержит описание современных технологических предпосылок становления информационно-компьютерной науки, а также пример редуцированного подхода к интеграции компьютерной и информационной наук. В разделе 4 формулируется аксиома герметичности ее сред: ментальной, социально-коммуникационной и цифровой электронной. Показано, что эта аксиома в неявном виде использовалась и ранее в процессе построения теоретических оснований информационно-компьютерной науки.

## **2. Горн и Шрейдер об информатике как информационно-компьютерной науке**

В апреле 2013 г. исполнилось 50 лет, как была опубликована статья Сола Горна «Информационно-компьютерные науки как новая фундаментальная область знаний» [16]. В этой работе Горн использовал множественное число для ее названия. Единственное число появилось в 1983 г. в названии его статьи «Информатика как информационно-компьютерная

---

<sup>1</sup> Идеи Горна и Шрейдера были практически полностью преданы забвению. Более подробное описание их подходов можно найти в работах [19, 20], материалы которых использованы в этой статье.

наука: ее идеология, методология и социальные аспекты» [17]. Далее в статье термины «информатика» и «информационно-компьютерная наука» рассматриваются как синонимы.

Пятьдесят лет назад Горн рассматривал результат интеграции информационной науки (information science) и компьютерной науки (computer science) как новую фундаментальную дисциплину, что нашло отражение в названии его работы, включающей следующие слова «a new basic discipline» [16]. Аналогичный подход к определению информатики как единой области знаний был предложен Ю.А. Шрейдером [18]. Его результаты были получены независимо от Горна, но идейно их подходы во многом весьма близки. В статье Шрейдера говорится, что не существует двух информатик (информационная наука и компьютерная наука), а есть два облика информатики. Первый из них (информационная наука) дополнительно нагружен представлениями о традиционном информационном обслуживании специалистов-ученых и инженеров в области их профессиональных интересов. Второй облик (компьютерная наука) неправомерно искажен чисто программистскими проблемами, не специфичными для информатики. Специфические же проблемы информатики оказываются там, где возникают задачи информационного представления знаний в форме, удобной для обработки, передачи и творческого реконструирования знаний в результате усилий пользователя [18, стр. 51].

В 1963 г. Горн перечислил ряд вопросов, которые относятся к информационно-компьютерной науке: «Примерами основных вопросов исследования в этой области могут быть системы программирования, проектирование компьютерных систем, искусственный интеллект, информационный поиск и т. д. Вероятностная теория информации Шеннона определенно принадлежит к этой области знания, но помимо нее существует теория компьютерной информации и процессов ее обработки, которую также необходимо включить в предметную область этой науки. Одним из центральных вопросов этой новой науки, скорее всего, станет анализ и синтез машинных языков и процессоров их обработки [16, стр. 150].

После перечисления направлений исследований, он рассматривает информационно-компьютерную науку как учебную дисциплину. Горн сопоставляет новую область знаний с другими дисциплинами с точки зрения образовательного процесса и формулирует следующие вопросы. Каким образом студент может узнать, относится ли сфера его интересов именно к этой новой области знаний, а не к одной из уже устоявшихся дисциплин? Какое ему необходимо образование для того, что бы углубиться в эту новую область знаний? Горн рассматривает эти вопросы, отталкиваясь в своих рассуждениях от прагматических аспектов исследований в этой новой области знаний [16, стр. 154].

Горн приводит перечень тех дисциплин, которые должны преподаваться студентам, изучающим информационно-компьютерную науку, включая математику, физику, философию, лингвистику, психологию, вычислительную технику и компьютерное программирование.

Предложенный им подход к изучению информационно-компьютерной науки уже тогда начал опробоваться в Пенсильванском университете. Через двадцать лет, в 1983 г., когда уже накопился опыт ее преподавания, Горн пишет, что его понимание парадигмы информационно-компьютерной науки заключается в том, что эта область знания не является ветвью математики, так как она должна соотносить себя с прагматическими вопросами, от которых математика не должна зависеть [17, стр. 137].

Главный вывод Горна, которым он завершает статью 1983 г., состоит в следующем: «...нам не следует отделять компьютерную науку от информационной науки, а следует пытаться отстаивать единую область знания – информатику. Любая попытка поощрить разделение /.../ повлечет за собой отделение практики от знаний /.../ Такое разделение будет причиной прекращения деятельного кипения, которое поддерживается сплавом знаний и практической деятельности ...» [17, стр. 139-140].

В 1988 г., т. е. через пять лет после публикации 1983 г., независимо от Горна аналогичный подход был предложен Ю.А. Шрейдером. В своей статье он формулирует ряд ключевых положений научной парадигмы информатики: «...информация есть общественное достояние, она в принципе социальна, в то время как знание, вообще говоря, соотнесено с конкретной личностью, с тем, кто им владеет и непосредственно пользуется. /.../ Информация должна пройти через "когнитивный экран" тех, для кого она представляет ценность. Так возникает необходимость считаться не только с существованием мира объективированного социализированного знания, т. е. информации как превращенной формы знания, но и с феноменом личностного знания. /.../ Тождественность информации и знания при этом исключается, но информация как превращенная форма знания сохраняет следы своего происхождения. /.../ Наиболее принципиальные вопросы информатики всегда возникали на стыке информации и знания, там, где речь шла о превращении одного в другое». Далее Шрейдер пишет о пропасти, разделяющей *информацию и знания как сущности разной природы* (выделено мной – ИЗ) [18, стр. 50-51].

Именно это положение Шрейдера послужило отправной точкой для формулировки аксиомы герметичности сред предметной области информационно-компьютерной науки. Эта аксиома, которая будет описана далее в разделе 4, является краеугольным камнем ее теоретических оснований.

Через пятьдесят лет после публикации первой работы Горна [16], наблюдается следующий парадокс. С одной стороны, фундаментальные работы Горна, который предсказал становление новой области знаний, редко упоминаются (по данным на март 2012 г. индекс цитируемости работы [16] по Web of Science равен 16, а работы [17] - 11).

С другой стороны, в наши дни предлагаются редуцированные подходы к интеграции информационной и компьютерной наук, являющиеся частными случаями подходов Горна и Шрейдера. Ссылки на их работы, как правило, отсутствуют, что говорит о забвении их идей. Один пример предлагаемого редуцированного подхода рассматривается в следующем разделе.

### **3. Новые направления исследований**

В наши дни появляются новые направления исследований и разработок, которые оказывают существенное влияние на процессы интеграции информационной и компьютерной наук. Например, в начале XXI в. стало формироваться комплексное направление исследований, получившее название «когнитивная информатика» [22, 23, 24, 25]. Ее предметная область включает актуальные проблемы целенаправленной генерации и эволюции новых знаний, находящиеся на стыке когнитивной, компьютерной и информационной наук [26, 27].

В рамках рассматриваемого подхода к интеграции эти проблемы отнесены к предметной области информационно-компьютерной науки, что существенно ее расширяет. Такое расширение необходимо учитывать при построении теоретических оснований информационно-компьютерной науки. Поэтому сначала предлагается уточнить границы предметной области новой области знаний, а только потом вносить изменения в ее теоретические основания. С этой целью далее будут рассмотрены следующие концептуальные и программные документы, которые были использованы в процессе уточнения границ предметной области:

- аналитический отчет по вопросам обеспечения конкурентоспособности США в XXI в., подготовленный Консультативным комитетом по информационным технологиям при Президенте США [28] (информацию о содержании этого отчета на русском языке можно найти в работе [29]);
- описание приоритетных направлений исследований и разработок по созданию информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) 7-ой Рамочной программы ЕС, принятой на период 2007-2013 гг.;
- описание тематики ориентированных фундаментальных исследований по конкурсу Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) 2011 г. в части разработки основ создания конвергентных технологий.

#### *3.1. Аналитический отчет*

Основная идея аналитического отчета заключается в том, что конкурентоспособность США в XXI в. будет во многом определяться широкомасштабным применением новых информационных технологий во всех областях знаний и сферах практической деятельности. Согласно отчету для их создания потребуются дальнейшее развитие вычислительной отрасли в целом и информационно-компьютерной науки, в частности. В сфере научного познания информационные технологии представлены в отчете как составляющая триады «научная теория

– научный эксперимент – информационные технологии, обеспечивающие моделирование и проведение экспериментов».

Предлагаемое в отчете определение вычислительной отрасли имеет следующий вид [28, стр. 10]: «это быстро растущая мультидисциплинарная предметная область, в которой используются возможности передового компьютеринга (advanced computing) для понимания и решения сложных проблем, и которая включает три компонента:

- алгоритмы (численные и нечисленные), программное обеспечение, разработанное для решения проблем естественных, гуманитарных и инженерных наук;
- *информационно-компьютерная наука* (выделено мной – ИЗ), которая разрабатывает и оптимизирует современные аппаратные, программные и сетевые средства, необходимые для решения вычислительно сложных проблем;
- вычислительная инфраструктура, которая поддерживает решение научных и инженерных проблем, а также развитие информационно-компьютерной науки».

В этом определении используется словосочетание «информационно-компьютерная наука», с помощью которого идея интеграции была отражена С. Горном. В аналитическом отчете информационно-компьютерная наука трактуется как один из трех компонентов вычислительной отрасли. В этом отчете ее предметная область существенно редуцирована по сравнению с работами Горна и Шрейдера. Ее предназначение определяется необходимостью решения вычислительно сложных проблем. Перефразируя Шрейдера, можно сказать, что в этом подходе облик информационно-компьютерной науки сильно редуцирован из-за ориентации на вычислительно сложные проблемы.

### *3.2. Приоритетные направления исследований и разработок по ИКТ*

В документах 7-й Рамочной программы ЕС сформулировано восемь приоритетных направлений исследований и разработок, включая направление «Перспективные ИКТ» [1-6]. В этих документах констатируется необходимость фундаментального переосмысления теоретических оснований создания ИКТ будущих поколений. При этом не рассматриваются концептуальные подходы к такому переосмыслению и термин «информационно-компьютерная наука», выражающий базовый концепт интеграции, не используется.

Цели проектов, финансируемых в рамках направления «Перспективные ИКТ», сформулированы следующим образом: «Своевременная идентификация и обоснование новых тематических направлений исследований и разработок, которые имеют большой научно-технический потенциал и могут стать основой для разработки ИКТ будущих поколений. Эти проекты должны включать междисциплинарные исследования новых и альтернативных подходов к разработке ИКТ будущего и быть нацеленными на *фундаментальное переосмысление системы теоретических, прикладных, методологических и технологических*

*принципов, подходов и понятий, используемых сегодня в сфере ИКТ (выделено мной – ИЗ)*» [3, стр. 54].

Цитируемый документ содержит описание нескольких конкурсных тем направления «Перспективные ИКТ», включая тему «ИКТ долговременного применения». В описании этой темы говорится о необходимости разработки новых подходов к генерации, представлению и сохранению личностных знаний человека, их интеграции в цифровой электронной среде и глобальному использованию, а также формулируется ряд актуальных исследовательских проблем [3, стр. 57-63].

Приведем формулировки двух проблем, иллюстрирующих актуальность рассматриваемых в статье вопросов расширения предметной области новой науки за счет проблем, находящихся на стыке когнитивной, компьютерной и информационной наук [3, стр. 62-63]:

1) разработать теоретические и прикладные основы создания долговечных систем, обеспечивающих их эволюцию при минимизации затрат на их развитие в условиях многократной смены поколений программно-аппаратных и сетевых средств и/или форматов данных. Долговечные системы должны быть способны к обеспечению своей первоначальной социально-значимой функциональности в течение долгого периода времени и изменению ее в случае необходимости. Методы сохранения и изменения функциональных возможностей должны быть компьютерно-независимыми и должны обеспечивать устойчивую эволюцию долговечных систем;

2) разработать новые подходы к представлению и сохранению знаний, ориентированные на долговременный и безотказный к ним доступ в условиях локальной генерации отдельных «квантов» знаний, их интеграции, глобального использования систем представления и сохранения знаний с учетом контекста и временной эволюции систем. Должна быть обеспечена долговременная устойчивость систем представления и сохранения знаний в условиях многообразия их использования и *эволюции семантики во времени* (выделено мной – ИЗ).

Таким образом, в документах 7-й Рамочной программы ЕС сформулирована потребность в разработке теоретических оснований создания ИКТ будущих поколений, учитывающих следующие обстоятельства и ограничения:

- устойчивая эволюция долговечных [информационно-компьютерных] систем;
- локальная генерация новых «квантов» знаний, их интеграция, компьютерное представление новых знаний в динамике их формирования;
- глобальное использование систем представления и сохранения новых знаний с учетом контекста и временной эволюции [информационно-компьютерных] систем;



- эволюция семантики [а также форм и структур представления знаний человека] во времени.

Сформулируем ряд вопросов для того, чтобы детализировать перечисленные обстоятельства в части генерации и представления новых знаний. На эти вопросы нужно ответить тем или иным образом в рамках любого предлагаемого подхода к построению теоретических оснований информационно-компьютерной науки. Явное описание ответов на эти вопросы нужно для сравнения разных вариантов их построения.

*Во-первых*, допускает ли предлагаемый подход категоризацию ментальных знаний по степени их конвенциональности? Есть ли категория личностных ментальных знаний человека, которые их автором ни с кем не согласованы? Если ответ «да», то каковы механизмы и средства распространения личностных знаний и в результате каких процессов происходит их преобразование в коллективные (согласованные) и конвенциональные знания?

*Во-вторых*, определяются ли в предлагаемом подходе в явном виде источники и цели генерации новых ментальных знаний человека, а также пополнения существующих систем знаний?

*В-третьих*, можно ли влиять на процессы генерации, пополнения и эволюции систем знаний (сделать эти процессы целенаправленными)? Каковы механизмы и средства этого влияния?

*В-четвертых*, допускает ли предлагаемый подход разделение ментальных знаний человека на имплицитные, которые не выражены в явном виде, и эксплицитные знания?

Все четыре перечисленных вопроса являются ключевыми. Они не исчерпывают перечень тех вопросов, которые необходимо решить в процессе описания сопоставляемых вариантов теоретических оснований создания ИКТ будущих поколений, в частности, и научной парадигмы информационно-компьютерной науки, в целом.

### 3.3. Ориентированные фундаментальные исследования

В марте 2011 г. РФФИ провел конкурс ориентированных фундаментальных исследований по 23 междисциплинарным темам [30]. По всем 23 темам поступило 1137 заявок. Авторы 468 заявок получили гранты на выполнение проектов. По теме «Фундаментальные основы конвергентных технологий» поступило чуть более 40 заявок, из которых почти половина получила гранты на выполнения проектов, включая следующие [31, 32]:

- Исследование и разработка нейроморфных средств и сложных антропоморфных технических систем (рассматриваются модели восприятия информации, накопления знаний о среде и поведении путем обучения в реальном времени);
- Исследование ритмических кодов мыслительной деятельности и создание на этой основе модели когнитивного пространства человека и интерфейса мозг-компьютер высокого

уровня (разрабатываются технологии определения типа совершаемых в уме мысленных действий по рисунку электроэнцефалограммы, исследуется распределение ритмов мозга для отдельных видов мышления: пространственного, образного, вербально-логического и смешанных форм, определяется количественная оценка расстояния между разными видами мышления с вычислением их координат на модели когнитивного пространства);

- Когнитивные основы конвергентной технологии распознавания речи (строится обучающее множества паттернов для технологии автоматического распознавания речи).

Названия и краткие аннотации позволяют получить первое представление о проблематике конкурса по теме «Фундаментальные основы конвергентных технологий». В этих проектах исследуются био-, нейро- и когнитивные технологии и рассматриваются вопросы их интеграции с ИКТ. В рамках этого конкурса РФФИ конвергенция технологий разных видов позиционируется как фактор формирования новой технологической базы цивилизации, основанной на воспроизведении систем и процессов живой природы в виде технических систем и технологических процессов [30-32], в т. ч. в виде информационно-компьютерных систем и технологий.

В XXI в. исследования по конвергенции технологий разных видов позиционируются как актуальная проблематика. В частности, в ежегодных программных документах под названием «NSF Investments and Strategic Goals» Национального научного фонда (ННФ) США вопросы конвергенции технологий появились в 2003 г. Отметим, что одно из приоритетных направлений исследований, финансируемых ННФ, имеет название «*Computer and Information Science and Engineering*» [33].

Исследования по конвергенции технологий направлены на решение крупных социальных задач, что отражено в самих названиях исследовательских программ, проектов, научных мероприятий и отчетных материалов. Так, отчет 2003 г. по проекту ННФ № CTS-0128860, подготовленный ведущими специалистами США по конвергенции технологий, называется «*Converging Technologies for Improving Human Performance*» [34], а аналитический отчет 2004 г., подготовленный ведущими специалистами Европейского союза – «*Converging technologies - shaping the future of European societies*» [35].

РФФИ финансирует проекты в области интеграции ИКТ с био-, нейро- и когнитивными технологиями на конкурсной основе с 2011 г. Далее в статье результат интеграции всех перечисленных видов технологий кратко будем обозначать как когнитивные ИКТ. Создание фундаментальных основ их разработки является сегодня актуальной тематикой. В рамках рассматриваемого подхода эта тематика также относится к предметной области информационно-компьютерной науки (ИКН).

#### 4. Аксиома герметичности сред предметной области ИКН

Понятие среды было введено К.К. Колиным в интересах описания структуры научных исследований, относящихся к комплексу наук об информации [36, 37, 38]. В этом разделе, в рамках рассматриваемого подхода, обосновывается необходимость принятия аксиомы герметичности сред как базового элемента теоретических оснований ИКН.

В работах [39, 40, 41, 42, 43], содержащих описание оснований ИКН, эта аксиома в явном виде не формулировалась. Однако эта аксиома использовалась в неявном виде в описании следующих оснований ИКН:

- 1) делении всей предметной области ИКН на перечисленные ниже среды;
- 2) определение двух классов понятий ИКН: первый класс – это по определению однородные понятия (например, знания), второй – двуединые понятия (например, семиотические знаки);
- 3) распределение однородных понятий по средам, а двуединых понятий по границам между средами;
- 4) использование двух взаимосвязанных стадий представления ментальных знаний человека и составляющих их концептов в цифровой электронной среде в виде кодов.

Приведем краткое описание перечисленных оснований и отношений между ними, используя систему терминов, построенную в работах [39-43], и отметим случаи неявного использования аксиомы герметичности сред, чтобы затем сформулировать ее в явном виде.

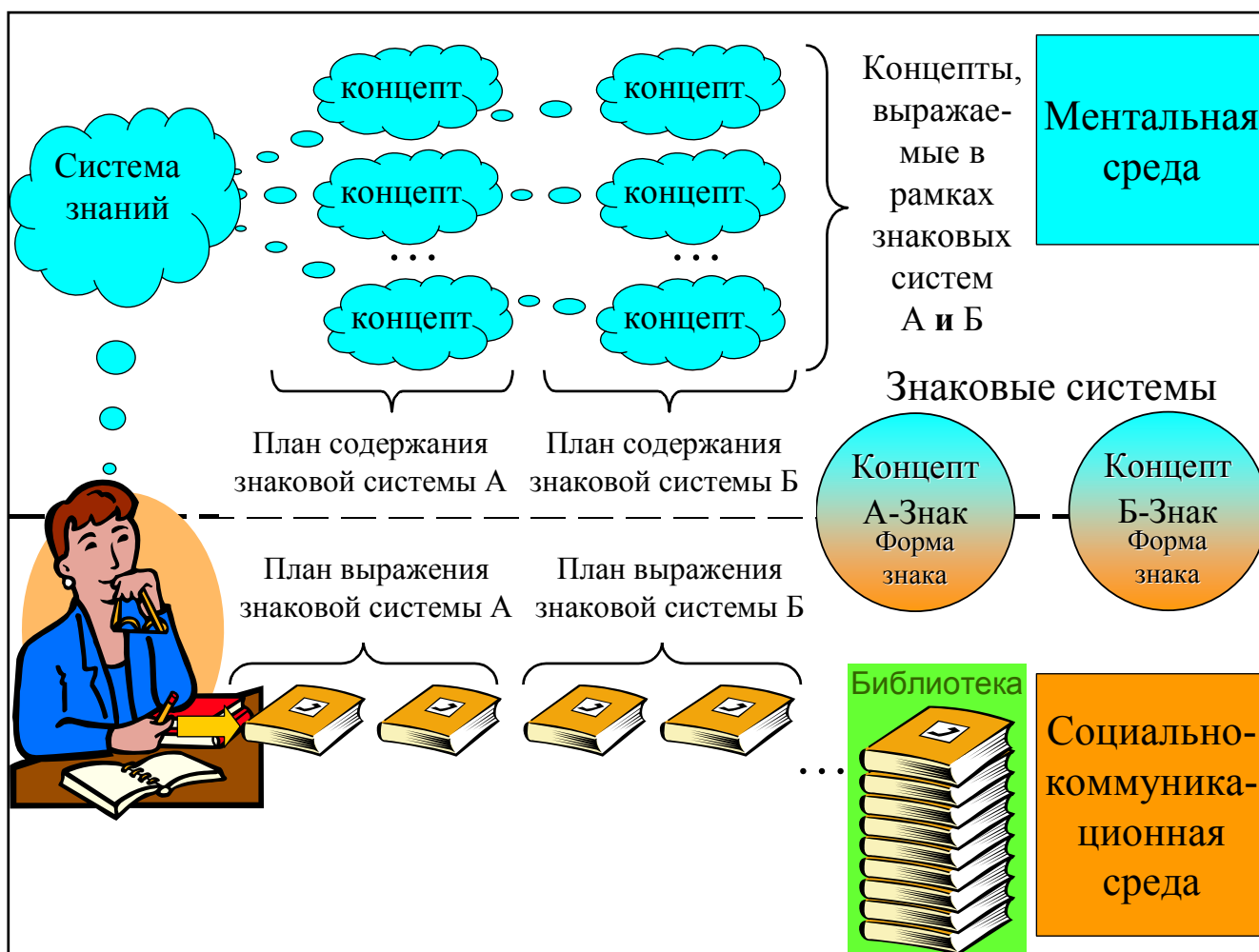
Используемая система терминов включает два основных класса понятий: однородные (знания, знаковая информация, данные, цифровая информация, цифровые данные и компьютерные коды) и двуединые (семиотические знаки, формокоды и семокоды). В начале процесса построения теоретических оснований ИКН рассматривались только три среды (затем число сред было увеличено) и следующие соответствующие им однородные понятия:

- *ментальная среда знаний человека*, которая включает выраженные и невыраженные (имплицитные) знания;
- *социально-коммуникационная среда*, к которой относятся отчужденные от человека сенсорно-воспринимаемые формы представления его знаний (знаковая информация) и данные;
- *цифровая электронная среда*, к которой относятся цифровая информация, цифровые данные и компьютерные коды, включая коды концептов и форм представления выраженных знаний.

Таким образом, в процессе построения теоретических оснований ИКН каждое однородное по определению понятие было соотнесено только с одной из перечисленных трех сред [39-43]. Граница между ментальной и социально-коммуникационной средами является по

словам Ю. Шрейдера той «пропастью», которая разделяет знаковую информацию и знания как сущности разной природы [18, стр. 50-51].

В процессе распределения однородных понятий по средам *неявно предполагалось*, что каждое из этих понятий может быть определено *только в пределах одной среды*. Затем были описаны две последовательные стадии представления знаний в цифровой электронной среде в виде компьютерных кодов. Первая стадия представления знаний относится к границе между ментальной и социально-коммуникационной средами. *Неявно предполагается*, что для концептов и знаковых форм их представления (или форм знаков) эта *граница является непроницаемой для сущностей граничащих сред*. Знаки как двуединые по своей природе понятия принадлежат именно этой границе<sup>2</sup>. Вследствие непроницаемости границы возникает необходимость в ассоциативном соотнесении знаний и концептов с формами их представления с помощью семиотических знаковых систем, включая языковые системы (см. рис. 1).



**Рис. 1.** Две среды, планы содержания и выражения, знаковые системы

Этот рисунок иллюстрирует ситуацию, когда в системе знаний человека могут быть выделены несколько планов содержания в зависимости от числа тех языков или других

<sup>2)</sup> Здесь использована диадическая модель семиотического знака.

знаковых систем, которыми он владеет и которые использует для представления своих знаний в отчужденной форме. В используемой системе терминов такие формы по определению являются знаковой информацией. На рис. 1 изображено два плана содержания в ментальной среде (обозначены как А и Б), соответствующие двум разным языковым знаковым системам.

Например, для описания одних и тех же знаний могут использоваться русский язык (план содержания А) и английский язык (план содержания Б). Тогда каждому из этих двух планов содержания, полученных в результате членения одной и той же системы знаний, будет соответствовать свой план выражения в социально-коммуникационной среде. *Неявно предполагается, что, в общем случае, это соответствие является асимметричным* [44].

На рис. 1 каждый план выражения обозначен двумя книгами (две книги на русском языке и две книги их переводов на английский). Граница между ментальной и социально-коммуникационной средами обозначена штриховой линией. Вторая стадия представления знаний относится к границе между социально-коммуникационной и цифровой электронной средами, которая обозначена штрих-пунктирной линией (см. рис. 2).

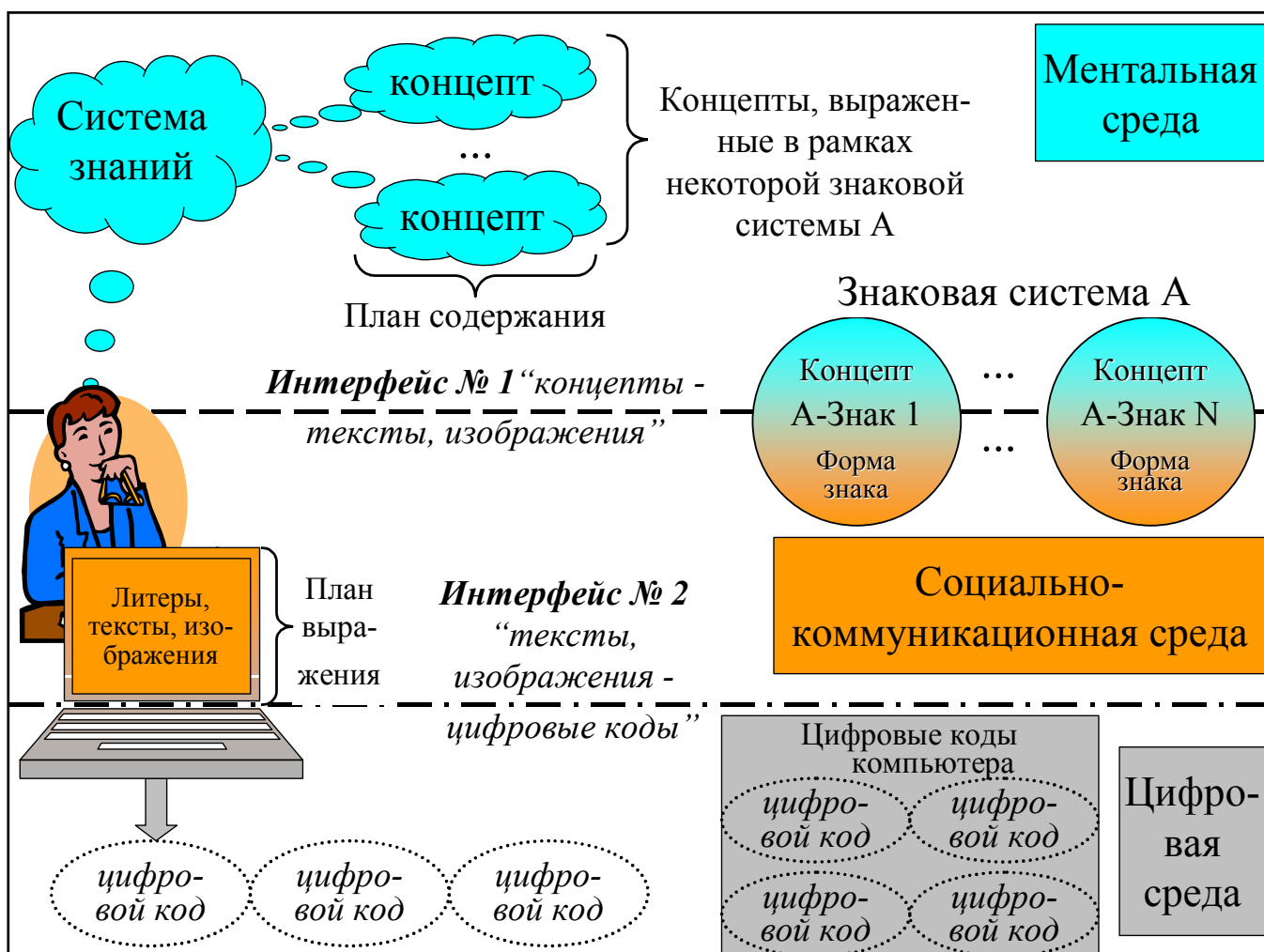
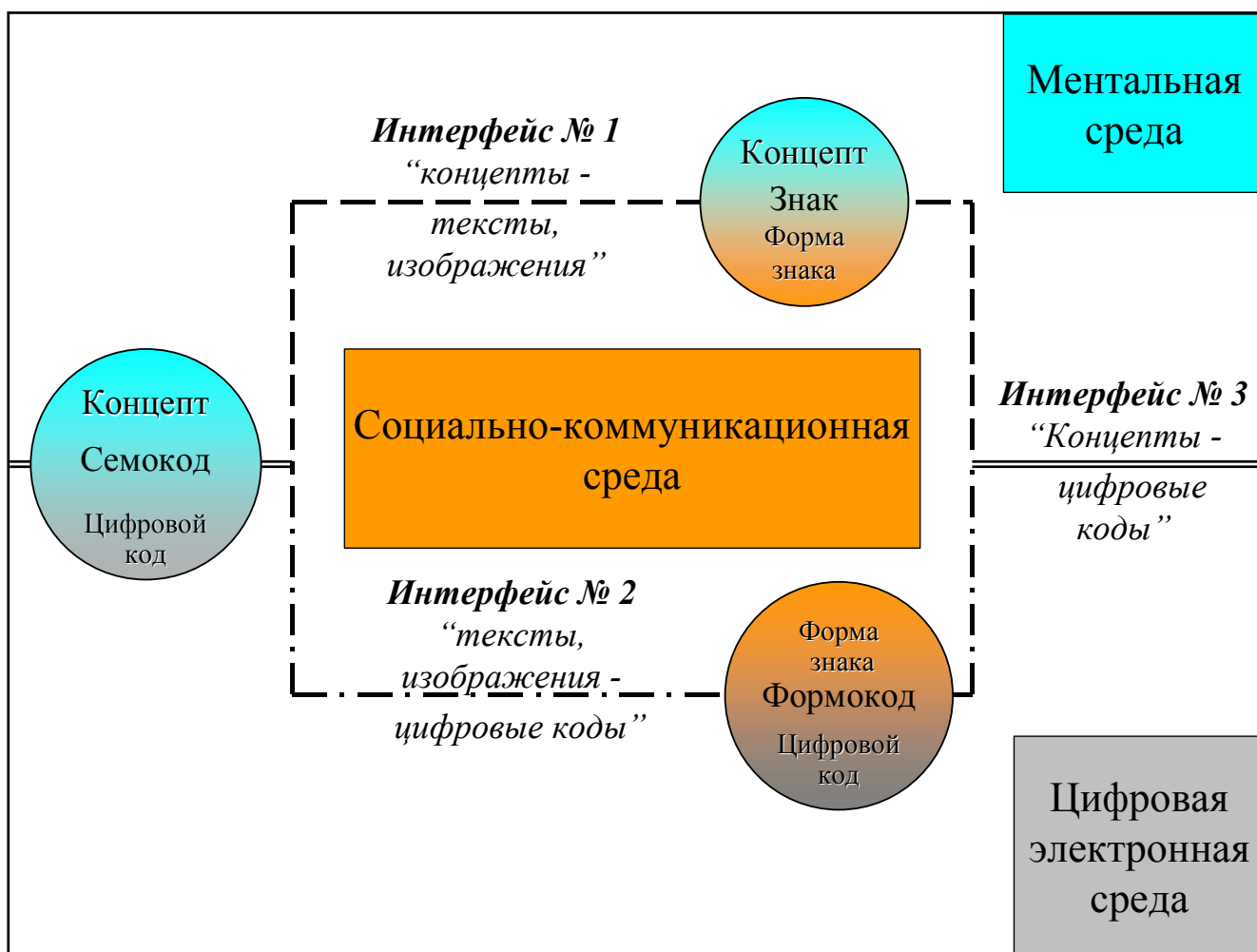


Рис. 2. Три среды, два интерфейса и две стадии представления в цифровой электронной среде знаний и составляющих их концептов в виде кодов

Неявно предполагалось, что эта граница также является *непроницаемой для сущностей граничащих сред*. На этой границе используются таблицы компьютерного кодирования литер, необходимые для представления текстов в цифровой электронной среде. Эти таблицы принадлежат границе между социально-коммуникационной и цифровой электронной средами (таблицы кодирования условно обозначены компьютером на рис. 2). Для вербализуемых знаний последовательное использование сначала языковых знаковых систем в процессе генерации текстов, а затем таблиц компьютерного кодирования является традиционным способом представления ментальных знаний человека и составляющих их концептов в цифровой электронной среде.

Рис. 2 иллюстрирует ситуацию, когда изображениям и текстам (как вербальным формам представления знаний) ставятся в соответствие цифровые коды. Важно отметить, что в процессе интеграции информационной науки с компьютерной наукой и формировании единой предметной области получились не две, а три границы между средами (см. рис. 3):



**Рис. 3.** Три среды и три интерфейса между ними

- между ментальной средой знаний человека и социально-коммуникационной средой (на рис. 2 и 3 обозначена как интерфейс № 1);

- между социально-коммуникационной средой и цифровой электронной средой (на рис. 2 и 3 обозначена как интерфейс № 2);
- между ментальной средой знаний человека и цифровой электронной средой (на рис. 3 обозначена как интерфейс № 3).

Определение в работе [39] двуединых понятий на второй и третьей границах, которые в используемой системе терминов названы, соответственно, формокодами и семокодами, дало возможность предложить методы компьютерного кодирования тех концептов, которые не имеют вербальных форм представления или имеют несколько разных вербальных форм их представления из-за асимметрии языковых знаковых систем [44]. Для каждого из трех интерфейсов *неявно предполагалось*, что соответствующая ему граница является *непроницаемой для однородных сущностей граничащих сред*. Семиотические модели, разработанные на основе этих трех интерфейсов, дали возможность описать количественно процессы генерации и эволюции новых экспертных знаний в динамике их формирования [26, 27].

Аксиома герметичности представляет собой обобщение на все среды ИКН положения Ю. Шрейдера о пропасти, которая разделяет знаковую информацию и знания как сущности разной природы, принадлежащие социально-коммуникационной и ментальной средам, соответственно. Используя выделенные выше неявные предположения, предлагается следующая формулировка *аксиомы герметичности трех сред*: любая однородная сущность, которая определяется в системе терминов ИКН для ментальной, социально-коммуникационной или цифровой электронной среды, существует только в пределах одной из этих сред, но может быть ассоциативно связана с помощью двуединых сущностей с одной или более однородных сущностей других сред.

Из принятия этой аксиомы следует два свойства однородных сущностей:

- любая граница является непроницаемой для однородных сущностей;
- ассоциативные связи однородных сущностей граничащих сред, в общем случае, являются асимметричными.

Сформулированная аксиома герметичности позволяет уточнить теоретические основания ИКН, эксплицируя те исходные положения, которые ранее использовались неявно. Кроме того, эта аксиома может быть использована непосредственно при разработке тех видов ИКТ, которые охватывают однородные сущности разных сред. При анализе и выборе средств поддержки интерфейсов на границах между средами важно уже на этапе концептуального проектирования выяснить, обладают ли ассоциативные связи, установленные в рамках выбранных интерфейсов, свойством асимметрии и определить как это свойство должно использоваться на последующих этапах разработки ИКТ. Приведем два примера технологий, которые охватывают однородные сущности разных сред и учитывают свойство асимметрии.

В работе [39, с. 222-225] была рассмотрена технология обработки файла цифровых данных одного плоского изображения<sup>3</sup>, который формируется компьютерным томографом. В этой технологии для одного файла, принадлежащего цифровой электронной среде, формально могут быть сгенерированы тысячи разных вариантов его представления, принадлежащих социально-коммуникационной среде. Разные варианты соответствуют разным участкам спектра плотностей тканей или органов, исследуемых с помощью компьютерного томографа.

В этом примере из медицинской информатики свойство асимметрии ассоциативных связей используется для организации исследования разных видов тканей (например, костной ткани, мозговой ткани и других видов мягких тканей) на основе обработки одного файла цифровых данных. При этом увеличение числа вариантов его представления, например за счет использования специальных мониторов, отображающих 1024 оттенка серого цвета, повышает точность диагнозов.

Второй пример возьмем из компьютерной лингвистики. При разработке технологий поиска, актуальными являются задачи редуцирования асимметрии в языковых знаковых системах, например, снятие омонимии при обработке текстов на естественном языке. Таким образом, в первом примере при проектировании технологий обработки изображений разработчики стремятся в максимально возможной степени использовать асимметрию ассоциативных связей для повышения точности диагнозов, а во втором примере – максимально ее редуцировать при обработке текстов на естественном языке в процессе снятия омонимии.

## 5. Заключение

В статье рассматривались только три среды предметной области ИКН. Однако отсюда не следует, что для ее описания всегда будет достаточно именно этих сред. Например в задачах нейроинформатики иногда необходимо включать в рассмотрение совокупность сущностей четырех сред: ментальной, социально-коммуникационной, цифровой электронной и нейрофизиологической [45]. Соответственно, объекты исследования предметной области нейроинформатики могут, в общем случае, принадлежать этим четырем средам. В процессе исследования могут использоваться двуединые понятия, принадлежащие следующим шести границам между этими средами:

- между ментальной средой знаний человека и социально-коммуникационной средой;
- между социально-коммуникационной и цифровой электронной средами;
- между ментальной и цифровой электронной средами;
- между нейрофизиологической и социально-коммуникационной средами;

---

<sup>3</sup> В этом примере файл цифровых данных содержит значения плотности тканей или органов одного слоя (среза), исследуемых с помощью компьютерного томографа. Значения плотностей изменяются по шкале Хаунсфилда от -1024 до 3071, т. е. всего 4096 значений плотности. Нулевое значение по этой шкале соответствует плотности воды.



- между нейрофизиологической и цифровой электронной средами;
- между ментальной и нейрофизиологической средами.

Для первой границы традиционным примером таких понятий являются семиотические знаки (см. рис. 2). Для второй и третьей границ ранее были определены аналогичные двуединые понятия «формокод» и «семокод» (см. рис. 3). Сегодня актуальным является вопрос, как определить аналогичные двуединые понятия для оставшихся трех границ.

В настоящее время отсутствует общее описание средового деления предметной области ИКН, учитывающее объекты исследований в нейроинформатике, когнитивной информатике и биоинформатике. Это не позволяет сегодня определить общее число сред, которые охватывает предметная область ИКН.

Необходимость в переосмыслении системы теоретических, прикладных, методологических и технологических принципов, подходов и понятий, используемых сегодня в сфере разработки ИКТ стало ключевой предпосылкой становления ИКН как общенаучной области знаний. В настоящее время осознана и эксплицирована с научной, технологической и образовательной позиций потребность в построении теоретических оснований ИКН как общенаучной области знаний. Используя идеи Горна и Шрейдера в статье рассмотрен только один из возможных подходов к построению ее теоретических оснований и в рамках этого подхода сформулирована аксиома герметичности сред предметной области ИКН.

Предметные области других областей знаний редко включают подобное разнообразие сред и, соответственно, разнообразие природы объектов исследования. Исключение составляет семиотика. В семиотическом треугольнике Фреге денотат является одной из его вершин и может быть любой природы (материальной, ментальной, социально-коммуникационной, цифровой электронной и т. д.). Если задачей семиотики является изучение знаков и знаковых систем, используемых во всех областях знаний, но *только на одной границе* между ментальной средой знаний человека и социально-коммуникационной средой, то задачей ИКН – создание теоретических основ разработки ИКТ для всех областей знаний и широкого спектра сфер практической деятельности. При этом ИКТ будущих поколений могут охватывать однородные сущности пяти и более сред, а также двуединые сущности на *нескольких границах* между ними.

Предлагаемое развитие идей Горна и Шрейдера является одним из возможных вариантов построения теоретических оснований ИКН, независимого от числа сред. Естественно, что могут быть предложены и другие варианты описания ее оснований. Разработка и сопоставительный анализ разных вариантов построения теоретических оснований ИКН является сегодня актуальной общенаучной проблемой, решение которой станет фундаментом для разработки образовательных программ по ИКН и подготовки специалистов для создания ИКТ будущих поколений.

## Литература

1. Decision No 1982/2006/EC of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Seventh Framework Programme of the European Community for research, technological development and demonstration activities (2007-2013) // Official Journal of the European Union L412 30.12.2006. – P. 1-41.
2. CORDIS ICT Programme Home - [http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/home_en.html) (состояние страницы на 23.05.2011).
3. ICT FP7 Work Programme 2007-08 - [ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2007-08\\_en.pdf](ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2007-08_en.pdf) (состояние файла на 23.05.2011).
4. ICT FP7 Work Programme 2009-10 - [ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2009-10\\_en.pdf](ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2009-10_en.pdf) (состояние файла на 23.05.2011).
5. ICT FP7 Work Programme 2011-12 - [ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2011-12\\_en.pdf](ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2011-12_en.pdf) (состояние файла на 23.05.2011).
6. FP7 Exploratory Workshop 4 «Knowledge Anywhere Anytime» – [http://cordis.europa.eu/ist/directorate\\_f/f\\_ws4.htm](http://cordis.europa.eu/ist/directorate_f/f_ws4.htm) (состояние страницы на 23.05.2011).
7. Verbeek A., Debackere K., Luwel M., Andries P., Zimmermann E., Deleus D. Linking science to technology: Using bibliographic references in patents to build linkage schemes // *Scientometrics*, 2002. Vol. 54. No. 3. – P. 399–420.
8. Научно-технический отчет по проекту «Linking Science to Technology - Bibliographic References in Patents», выполненному в рамках контракта № ERBHPV2-CT-1993-03, финансировавшегося Еврокомиссией. В 9 т. Т. 7 «Information Technology». – Leuven: Katholieke Universiteit Leuven, 2002. – 114 p.
9. Third European Report on Science & Technology Indicators. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. – 451 p.
10. Гиляревский Р.С. Основы информатики. – М.: Изд-во «Экзамен», 2003.
11. Информатика как наука об информации: Информационный, документальный, технологический, экономический, социальный и организационный аспекты / Под ред. Р.С. Гиляревского. - М.: ФАИР-ПРЕСС, 2006.
12. Королев Л.Н., Миков А.И. Информатика. Введение в компьютерные науки. - М.: Изд-во «Высшая школа», 2003.
13. Final Report of the Computing Curricula 2001 project: Computer Science (National Science Foundation. Grant No. 0003263) - [http://www.computer.org/portal/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=2814020&folderId=3111026&name=DLFE-57603.pdf](http://www.computer.org/portal/c/document_library/get_file?p_l_id=2814020&folderId=3111026&name=DLFE-57603.pdf) (состояние страницы на 11.03.2013).
14. Рекомендации по преподаванию программной инженерии и computer science в университетах (Software Engineering 2004: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering; Computing Curricula 2001: Computer Science): пер.с англ. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2007. — 462 с.
15. Snir M. Computer and information science and engineering: one discipline, many specialties // *Communication of the ACM*, March 2011. – Pp. 38-43.
16. Gorn S. The computer and information sciences: a new basic discipline // *SIAM Review*. Vol. 5. No. 2. April, 1963. – P. 150-155.
17. Gorn S. Informatics (computer and information science): its ideology, methodology, and sociology. In: *The studies of information: Interdisciplinary messages* / Ed. by F. Machlup and U. Mansfield. – New York: Wiley, 1983. – P. 121-140.
18. Шрейдер Ю.А. Информация и знание. В кн. Системная концепция информационных процессов.– М.: ВНИИСИ, 1988. – С. 47–52.
19. Зацман И.М., Кожунова О.С. Предпосылки и факторы конвергенции информационной и компьютерной наук // *Информатика и ее применения*, 2008. Т. 2. Вып. 1. – С. 77–98.
20. Зацман И.М., Кожунова О.С. Предпосылки конвергенции компьютерной и информационной наук // *Системы и средства информатики: Спец. вып. Научно-методологические проблемы информатики.* – М.: ИПИ РАН, 2006. – С. 112-139.
21. Зацман И.М. Система семиотических аксиом информатики как фундаментальной науки. В кн.: *Философия и будущее цивилизации: Тезисы докладов и выступлений IV Российского философского конгресса (Москва, 24-28 мая 2005 г.): В 5 т. Т.1.* - М.: Современные тетради, 2005. – С. 715-716 – <http://www.aintell.info/elib/w2/4.pdf> (состояние страницы на 12.03.2013).

22. Bryant, A. Cognitive Informatics, Distributed Representation and Embodiment // Brain and Mind. 2003. Vol. 4. No. 2. – Pp. 215-228.
23. Wang, Y., Kinsner, W. Recent Advances in Cognitive Informatics // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (Part C). 2006. Vol. 36. No. 2. – P. 121-123.
24. Wang, Y. The theoretical framework of cognitive informatics // International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence. 2007. Vol. 1. No. 1. – P. 1-27.
25. Wang, Y., Widrow, B., Zhang, B., Kinsner, W., Sugawara, K., Sun, F., Lu, J., Weise, T., Zhang, D. Perspectives on the Field of Cognitive Informatics and Its Future Development // International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence. 2011. Vol. 5. No. 1. – P. 1-17.
26. Zatsman I. Denotatum-Based Models of Knowledge Creation for Monitoring and Evaluating R&D Program Implementation // Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing. – Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2012. P. 27-34.
27. Zatsman I. Tracing Emerging Meanings by Computer: Semiotic Framework // Proceedings of the 13th European Conference on Knowledge Management. Vol. 2. – Reading: Academic Publishing International Limited, 2012. - Pp. 1298-1307.
28. Computational Science: Ensuring America's Competitiveness. Report to the President. - Arlington, VA: National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2005.
29. Колин К.К. Новая стратегическая компьютерная инициатива США и задачи России в области развития фундаментальной информатики // Информационные технологии. № 7. 2006. - С. 2-5.
30. Аннотация и рубрикатор темы «Фундаментальные основы конвергентных технологий» в конкурсе РФФИ ориентированных фундаментальных исследований по актуальным междисциплинарным темам 2011 года - [http://www.rfbr.ru/rffi/getimage/20.Фундаментальные\\_основы\\_конвергентных\\_технологий.pdf?objectId=31173](http://www.rfbr.ru/rffi/getimage/20.Фундаментальные_основы_конвергентных_технологий.pdf?objectId=31173).
31. Мысяков Д. Практика широкого формата (интервью с П. Пашиным) // Газета «Поиск». 2012. № 12(1190). – С. 6-7.
32. Список проектов конкурса "ОФИ-М-2011", получивших финансовую поддержку РФФИ - <http://www.rfbr.ru/rffi/getimage?objectId=38202>.
33. The National Science Foundation's FY 2003 funding request to Congress - <http://www.nsf.gov/about/budget/fy2003/goals.htm>.
34. Roco, M., Bainbridge, W.S. (Eds). Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. U.S. National Science Foundation. - Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2003. - 482 pp.
35. Nordmann A. (Ed). Converging technologies - shaping the future of European societies. A report from the high level expert group on "foresighting the new technology wave". - Brussels: European Communities, 2004. - 68 pp.
36. Колин К.К. О структуре научных исследований по комплексной проблеме «Информатика». Сб. н. тр. «Социальная информатика». – М.: ВКШ при ЦК ВЛКСМ, 1990. – С. 19-33.
37. Колин К.К. Эволюция информатики и проблемы формирования нового комплекса наук об информации // Научно-техническая информация. Сер. 1, № 5, 1995. – С. 1-7.
38. Колин К.К. Становление информатики как фундаментальной науки и комплексной научной проблемы // Системы и средства информатики: Спец. вып. «Научно-методологические проблемы информатики». – М.: ИПИ РАН, 2006. – С. 7-58.
39. Зацман И.М. Концептуальный поиск и качество информации. – М.: Наука, 2003. – 271 с.
40. Зацман И.М. Семиотические основания и элементарные технологии информатики // Информационные технологии. 2005. № 7. – С. 18-31.
41. Зацман И.М., Косарик В.В., Курчавова О.А. Задачи представления личностных и коллективных концептов в цифровой среде // Информатика и ее применение. 2008. Том 2. Вып. 3. – С. 54-69.
42. Зацман И. М. Семиотическая модель взаимосвязей концептов, информационных объектов и компьютерных кодов // Информатика и ее применение. 2009. Том 3. Вып. 2. - С. 65-81.
43. Зацман И. М. Нестационарная семиотическая модель компьютерного кодирования концептов, информационных объектов и денотатов // Информатика и ее применение. 2009. Том 3. Вып. 4. - С. 87-101.
44. Гак В.Г. Асимметрия // Большой энциклопедический словарь «Языкознание». – М.: Большая российская энциклопедия, 1998. – С. 47.
45. Shepard, R.N. Perceptual-Cognitive Universals as Reflections of the World // Behavioral and Brain Sciences. 2001. Vol. 24. No. 3. – Pp. 581-601.