

ПРЕДПОСЫЛКИ КОНВЕРГЕНЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ НАУК¹

И. М. Зацман, О. С. Кожунова

Аналитический обзор посвящён вопросу соотношения предметных областей компьютерной и информационной наук, а также рассмотрению предпосылок их конвергенции в историческом контексте формирования этих наук. Становление информационной науки, включая разработку оснований и методов этой науки, происходило одновременно с развитием компьютерной науки. Вопрос соотношения предметных областей информационной и компьютерной наук имеет достаточно давнюю историю, и ему посвящено значительное число работ. В предлагаемом обзоре рассматриваются, в первую очередь, истоки и термины этих наук.

1. Введение

В английском языке существует, как минимум, четыре устойчивых словосочетания — information science, computer science, computer and information science, computational science — которые часто переводятся на русский язык одним словом «информатика». Приведённые англоязычные словосочетания обозначают разные научные дисциплины и сферы деятельности. Однако при переводе на русский язык их названий одним словом «информатика» содержатся различия и различие их предметных областей не отражаются лексически. Более того, располагая русским переводом некоторой статьи и не имея её англоязычного оригинала, иногда невозможно понять, о какой из четырёх «информатик» идёт речь, так как по ряду проблем, например, по проблеме информационного поиска, предметные области этих дисциплин пересекаются.

Кроме того, в английском и русском языках разные базовые понятия этих научных дисциплин часто и лексически выражены одним словом, что затрудняет их сравнительное описание, например, в случае употребления слова «information — информация». При этом ни одна из этих дисциплин не считает себя устойчивейшей областью знаний с общепринятыми основаниями своих теоретических построений.

Основная цель статьи заключается в описании отличительных признаков трёх из четырёх «информатик»: information science, computer science, computer and information science, которые во избежание путаницы будем далее называть «информационная наука», «компьютерная наука» и «информационно-компьютерная наука» соответственно.

В 1980 году один из классиков информационной науки писал: «Едва ли теоретическая информационная наука уже существует. Я различаю рассеянные обрывки теории, некоторые из которых имеют более или менее стройный вид, но всё же они не складываются в единое целое. Поэтому общих допущений (явных или неявных), которые могли бы претендовать на теоретические основания, попросту не существует. Информационная наука оперирует огромным количеством разумных приложений, которые всё больше требуют участия компьютера. Ни о каких основаниях она не может заявлять, если покоится только на здравом смысле в области языковых исследований, коммуникаций, отношений знаний и информации, приложениях компьютерных и телекоммуникационных технологий. Однако состояние компьютерной науки не намного лучше. Итак, в философском отношении информатическая наука пребывает в подвешенном состоянии, так как у неё нет теоретических оснований» [1, с. 125].

В обзоре описание отличительных признаков трёх «информатик» приводится в следующей последовательности: информационная наука (раздел 2), компьютерная наука (раздел 3) и информационно-компьютерная наука (раздел 4), за которыми следует Заключение (раздел 5).

2. Информационная наука

2.1. Становление информационной науки.

По мнению скандинавского учёного, специалиста в области информационной науки П. Ингверсена, изучаемая им наука — дисциплина молодая. В своей работе «INFORMATION AND INFORMATION

¹ Работа выполнена при частичной поддержке РГНФ, грант № 05-03-03230а.

SCIENCE» он подчёркивает, что самое раннее использование термина «информационная наука» в научных кругах пришло на 1958 год, когда был сформирован Institute of Information Scientists в Великобритании. По сведениям его основателя, Дж. Фаррадеяна, предполагалось, что «использование термина „информационный учёный“ поможет различать учёных, занимающихся информационной наукой, и учёных-естествоиспытателей, поскольку сотрудники института имели дело в основном со сбором, хранением и обработкой научно-технической информации» [2, с. 137].

Сотрудники вышеупомянутого института специализировались в разных областях знания, зачастую очень сильно отличающихся друг от друга. В круг их основных обязанностей входила организация информационного обслуживания и предоставление научной информации исследователям из других институтов и промышленных лабораторий. Пионерами информационной науки были Б. К. Брукс, С. Клевердон, Р. Фейтхорн, Е. Гарфильд, М. Кочен, И. У. Ланкастер, Дж. Солтон, Д. де Солла Прайс и Б. Викери [2, с. 137].

В своей работе Ингверсен подробно объясняет, почему сотрудники Institute of Information Scientists называли себя информационными учёными: «Называя себя информационными учёными, они, очевидно, хотели подчеркнуть важность научного подхода к изучению *информации* и *процессов научных коммуникаций*. Их работа являлась продолжением предыдущих теоретических и эмпирических попыток исследовать проблемы организации, роста и распространения *информации*, которая была накоплена перед второй мировой войной» [2, с. 137].

Чтобы проследить процесс становления информационной науки, Ингверсен обращается к её истории и к предпосылкам, которые привели к формированию предметной области информационной науки. По его мнению, традиционно профессионалы, занимающиеся хранением документов и издательских форм представления научных результатов, были известны как документалисты (позже — *информационные учёные*) и библиотекари: «Первые из упомянутых обычным образом обучались какой-либо научной дисциплине и занимались прикладными аспектами передачи научно-технической информации применительно к своей дисциплине. Библиотекари обучались библиотечному делу (т. е. работе в библиотеках). Для них передача информации в таких учреждениях как библиотеки часто символизирует

и социальные, и значительные культурные аспекты. Несмотря на идентичные способы обработки документов и информации и похуже использование информационных технологий, разделение на две группы продолжало существовать и в послевоенное время во многих странах (например, в Скандинавии и Соединённых штатах). Результат этого разделения можно увидеть в другом названии этой области знания: библиотечно-информационная наука. В дополнение к этому для библиотечного сообщества сама по себе библиотечная наука рассматривалась в качестве научной альтернативы информационной науке. Однако социокультурные коммуникации (например, с помощью библиотек) не могут существовать без процессов передачи информации» [2, с. 138].

Поэтому П. Ингверсен отдельно оговаривает, что «библиотечная наука — это информационная наука и исследовательские методы, применённые к конкретному учреждению под названием „библиотека“. Разделение на библиотечную и информационную науки является непродуктивным и носит искусственный характер. Наука не может быть целиком посвящена некоторому учреждению; например, медицина не может быть представлена на концептуальном уровне как *больничная наука*» [2, с. 138].

С одной стороны, это разделение внесло свой вклад в кризис идентификации этой науки и фрагментировало стройное здание её теории, построение которого потребовало нескольких десятилетий. С другой стороны, настаивая на большем числе социальных и гуманитарных аспектов, ассоциированных с передачей информации, библиотечное сообщество в девяностые годы прошлого века способствовало эволюции в направлении консенсуса в информационной науке. В конечном счёте, фокусирование только лишь на *научных коммуникациях* и передаче информации является слишком ограниченной основой для научной дисциплины. Влияние сообщества (информационных учёных) расширило концепцию предметной области за счёт тех сфер человеческой деятельности, в которых *знания* и *информация* играли жизненно важную роль, таких как коммерческая деятельность и социокультурные коммуникации [2, с. 138]; [3, 4].

В своём исследовании информационной науки и её предмета, Ингверсен обращается к истокам и основаниям этой науки. Он задаётся вопросами: что же было движущей силой попыток основания науки, занимающейся, главным образом, обработкой документов, и почему было так интересно и даже необходимо серьёзно изучать вопрос обеспечения эффективной передачи же-

лаемой и доступной информации от человека-генератора человеку-пользователю? По мнению учёного, ответы на эти вопросы традиционно относятся к идее «информационного общества» и говорят о том, что область знания возникла вследствие осознания проблем как физического, так и интеллектуального доступа к чрезвычайно быстро растущему объёму научных знаний (по-слевоенный *информационный взрыв*). Кроме того, эти проблемы и пути их решения должны быть соотнесены с возможностями новых *информационных технологий* [2, с. 138].

Ингверсен полагает, что такого рода ответы получили широкое распространение, но при этом они являются частично поверхностными. В приведённом объяснении ошибочно предполагается, что информацию можно приравнивать к документам таким, как статьи и другие физические сущности, содержащие какие-либо сообщения. Однако *информация в информационной науке* не обозначает физические сущности вроде документов. Если что и произошло в течение нынешнего столетия, так, в первую очередь, это впечатляющий «документальный взрыв» как в науке, так и в обществе, что повлекло за собой усложнение доступа — и физического к документам, и интеллектуального — для получения адекватной информации [2, с. 139].

Главный вывод, который делает Ингверсен о том, каким должно быть понятие информации в информационной науке, заключается в следующем. В пределах предметной области *информационной науки* понятие *информации* должно удовлетворять двум требованиям. С одной стороны, информация является результатом преобразования в знаковую форму когнитивных структур генератора. При этом учитывается модель представления знаний, имеющихся у получателя этих знаковых форм. С другой стороны, это нечто такое, при восприятии и осознании чего имеющиеся знания получателя информации подвергаются влиянию и трансформируются. Упомянутая в определении фраза «при восприятии и осознании» подразумевает намеренную каузацию, ожидание, а, значит, и *желание* оценить объективированное описание мира вокруг получателя информации. В результате, высказывание «информационное общество» также подразумевает, что общество зависит от использования информации, а не только от того, как оно её производит. Таким образом, имеет место взрыв данных (или информации в метафорическом смысле) [2, с. 139].

Информацию как результат преобразования в знаковую форму когнитивных структур будем называть знаковой информацией.

В ответах на вышеупомянутые вопросы Ингверсена заключена и другая проблема: «...по существу никому не требуется наука для обеспечения доступа к документам. Если что-то и необходимо, то это улучшенные методы, позволяющие людям проследить за ростом документов. *Эта практическая работа* уже почти пять тысяч лет выполняется архивариусами (хранителями архивов), библиотекарями и документалистами. Они постоянно извлекали пользу из информационных технологий, доступных им в каждый исторический период времени, начиная с глиняных табличек и заканчивая пергаментом, бумагой и компьютерными методами». Например, первое использование компьютерных технологий для поиска научных документов относится к 60-м годам прошлого века [2, с. 139].

Главной движущей силой использования технологических инноваций была потребность технологического и научного сообщества в быстром получении документов, релевантных какой-либо специальной цели или проблеме. Неудивительно, что решение проблем доступа к документам и, что более существенно, к потенциально значимой информации всё больше всецело зависело от технологий. Вследствие этого поощряются образование, профессиональная специализация и наука, а сложность новых социальных структур есть следствие взрыва бумажной работы [2, с. 139].

С момента создания Institute of Information Scientists в 1958 году неоднократно предпринимались попытки установить основные направления исследований в информационной науке и определить её границы с другими областями знания. Основная проблема заключалась в недостатке базовых научных или философских подходов к описанию информационных процессов, кроме подразумеваемых рационалистических взглядов, унаследованных от физических наук. Причиной этому была вышеупомянутая неопределённость её положения в системе научного познания. Ряд специалистов настаивали на том, что информационную науку необходимо рассматривать как составляющую естественнонаучия. Поэтому они стремились сформулировать и действительно сформулировали фундаментальные «законы» информации, которые вследствие особенностей человеческого подхода к использованию информации для познавательных целей можно рассматри-

вать лишь как индикаторы информационных процессов. Однако важно отметить и эти попытки «форсированной научной эволюции» (основанной на желании совершенствоваться), поскольку без них данная область знания была бы поглощена близкими когнитивными дисциплинами ещё в 1960-х годах [2, с. 141].

В своём исследовании информационной науки Ингверсен, говоря об истории развития этой области, резюмирует, что за период её существования предпринимались попытки слияния с другими междисциплинарными областями с тем, чтобы утвердить более весомую научную позицию в системе научного познания.

Прослеживаются два основных направления: 1) движение одной части научного сообщества в направлении *теории коммуникаций* и 2) попытка слияния с *компьютерной наукой*. В то же время ряд учёных приложили значительные усилия для сохранения независимости дисциплины с её собственной индивидуальностью [2, с. 141], [5–7].

2.2. Фаррадейн: предметная область информационной науки. Одним из главных сторонников формирования и развития информационной науки как независимой области знания являлся Дж. Фаррадейн, основатель Institute of Information Scientists (IIS).

Предметную область этой науки он описал следующим образом: «Информационная наука по большей части когнитивная наука, то есть имеет дело с мыслительными процессами, одной из самых сложных областей исследований. Конечно, она является частью более обширной области коммуникаций, преподавания и обучения. Но даже такие практические аспекты этой науки, как хранение и поиск информации, постоянно остаются в тени понятия „релевантности“, ментальной оценки, индивидуальной для каждого отдельного получателя информации и зависящей от его первоначального уровня знаний» [7, с. 75].

С точки зрения учёного, особенности такого подхода к вопросу приводят к следующему выводу: «Чем больше мы изучаем то, что лежит на двух когнитивных границах области информационной науки, то есть, когнитивные процессы, которые генерируют информацию, и когнитивные процессы, происходящие при получении информации, тем у нас больше возможностей улучшить и контролировать процессы хранения и поиска информации для получения желаемых результатов» [7, с. 75].

В описании предметной области информационной науки Фаррадейн сопоставляет знания и информацию, их отношения в процессах передачи информации, её трансформации в знания как центральные понятия и процессы обсуждаемой науки. Картина событий при передаче информации, которую описывает учёный, не содержит какого-либо лингвистического анализа, кроме описания ограничений, накладываемых языком. Зато она содержит описание процессов мышления источника информации и получателя, её преобразований в знания. Фаррадейн определяет «знания» как отпечаток процессов понимания и осознания, происходящих в памяти человека, как нечто, доступное лишь в пределах памяти человека. При этом он отмечает, что сами процессы понимания и осознания в настоящее время остаются невыясненными. «Информация» определяется им как сущность, заменяющая знания (например, язык) и используемая для коммуникаций. Важно отметить, что определение информации по Фаррадейну, которую будем называть «языковой информацией», во многом совпадает со «знаковой информацией» по Ингверсену, но принципиально отличается от «ментальной информации» Брукса, которая будет рассмотрена далее.

О свойствах информации и её связях со знаниями Фаррадейн говорит следующим: «...Она [информация] нейтральна в том смысле, что она не обязательно должна быть новой для воспринимающего её субъекта. Нам известно большое количество практических примеров обработки информации в системах поиска и хранения, но её отношение к знаниям не менее важно для развития информационной науки как науки об информации» [7, с. 77].

Учёный придаёт большое значение моделированию поисковых процессов и связанных с ними понятий: «Поисковые процессы (в частности, в памяти человека), если их можно было бы обнаружить и моделировать, могли бы предоставить лучшие методики поиска, чем методы поиска по образцу, которые используются в поисковых системах в настоящее время. Обычно кажется, что человек, который испытывает более серьёзные затруднения при переводе своих потребностей в новых знаниях в лингвистическую форму запроса, чем при представлении уже имеющихся у него знаний в форме информации. В этом нет сомнения, поскольку пробел, породивший потребность в знаниях, действительно пуст, без каких-либо очевидных связей (отношений) с существующими у человека когнитивными структурами

его знания. То есть, подразумевается, что структура неполных отношений какой-либо области знания выражается в *информационной потребности* пользователя. Если существующие знания проблемной области могли бы быть полностью отображены в системе ментальных, связанных между собой, понятий, то, возможно, получилось бы выразить эту «потребность» в более точной форме, чем в той, в которой был сформулирован вопрос пользователя. В комбинации с информацией, хранимой в том же виде структурированного представления, мог бы быть произведён более точный и полный поиск средствами автоматизированной системы» [7, с. 79].

По мнению британского исследователя, информационный поиск относится к *предметной области информационной науки*.

2.3. Брукс: основания информационной науки. Б. Брукс (его главная работа в данной области относится к 1980 году), также являвшийся сотрудником IIS в Великобритании, активно изучал вопросы оснований информационной науки, поскольку в ней к 1980-м годам накопилось достаточно теоретических вопросов, касающихся её оснований, в том числе, в системе терминов этой науки.

Одним из центральных вопросов при рассмотрении философских оснований информационной науки Брукс считает вопрос соотношения субъективного и объективного в научной деятельности. По его мнению, понятие информации, безусловно, является главным в системе терминов информационной науки, но оно же предполагает определённые сложности для учёного-теоретика. Даже на уровне здравого смысла, т.е. того, как мы её себе представляем, информация является сущностью, которая проникает во все сферы человеческой деятельности. Поэтому особенно сложно отслеживать информационные явления в изоляции, обособленности, которую обычно требует научный вопрос. Даже процесс описания этих же наблюдений каких-то явлений сам по себе уже является информационной деятельностью. Следовательно, не так просто отделить объективное от субъективного.

Все социальные науки сталкиваются с подобной проблемой, но ни одна из них, согласно Бруксу, не готова к этому. Информационная наука, единственная из всех социальных наук, наиболее близко связана с взаимодействиями ментальных и физических процессов или субъективных и объективных способов мышле-

ния. Поэтому, с точки зрения Брукса, на информационную науку возлагается особая ответственность. Она должна насколько возможно прояснить эти моменты, что является одной из основных её задач.

2.3.1. Миры Карла Поппера: мир 3 и информационная наука. В попытке сформулировать основания информационной науки Брукс исследовал философские труды. Наиболее значимой работой, обнаружившую непосредственную связь с проблемами и основаниями информационной науки, для него стала книга Карла Поппера «*Объективное знание*».

По мнению Брукса, в чём действительно нуждается информационная наука как в основе, так это в объективной, нежели в субъективной теории знания [1, с. 127].

По мере углубления в вопрос соотношения объективного и субъективного в науке Поппер формирует следующие онтологии, так называемые миры Поппера (см. рис. 1).

Мир 1. Физический мир, космос, в котором земля, живая для нас, а в безмерности вселенной сияния и материи лишь крошечное пятнышко.

Мир 2. Мир субъективных человеческих знаний или «ментальных состояний».

Мир 3. Мир объективных знаний, продукции человеческого разума, нашедшей выражение в языках, искусствах, науках, технологиях — во всех памятниках, которые люди хранят или рассредоточивают по всей Земле.

По мнению Брукса, именно мир 3 Поппера должен быть рекомендован библиотечным и информационным учёным, по-

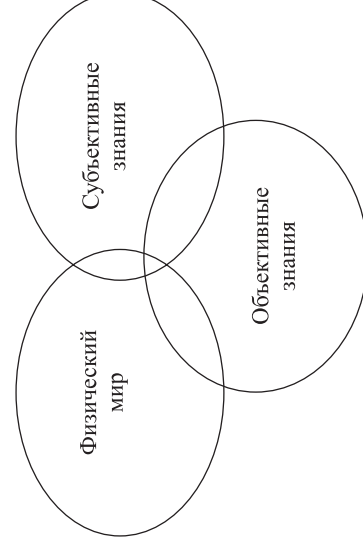


Рис. 1. Три мира Поппера

сколько он впервые предлагает логическое обоснование их профессиональной деятельности, которое выражается в терминах, отличных от терминов практических приложений. Практическая деятельность библиотечных и информационных учёных складывается из собрания и хранения записей мира 3, в то время как теоретической проблемой является изучение взаимодействий между мирами 2 и 3, их описанием и объяснением их способности или неспособности систематизировать знания (скорее их, чем документы) для их более эффективного использования [1].

События мира 2 — наших индивидуальных ментальностей — происходят в наших индивидуальных *частных* пространствах и потому являются *субъективными*. Для того чтобы объективизировать наши индивидуальные мысли, нам необходимо каким-то образом выразить их и занести эти записи в мир 3. Там они становятся доступными другим людям [1, с. 129].

Но такое разъяснение объективного и субъективного предполагает проблемы, которых Поппер не учёл: «Не слишком верно полагать, что любое выражение мысли (или чувства), сохранённое в мире 3, является непосредственно доступным всякому, кто его ищет, как некая *объективность, объективная реальность*» [1, с. 130].

2.3.2. Фундаментальное уравнение информационной науки. Основологающими понятиями информационной науки, как и остальные учёные, занимающиеся информационной наукой, Брукс считает информацию и знания. Именно поэтому вопрос их соотношения для него является центральным при обсуждении оснований этой науки.

Брукс рассматривает знания как структуру взаимосвязанных понятий, а информацию — как *небольшую часть этой структуры*, то есть учёный относит информацию к ментальной сфере. При этом структура знаний может быть объективной или субъективной [1, с. 131].

Он выразил это соотношение в виде названного им «фундаментального уравнения»:

$$K[S] + \Delta I = K[S + \Delta S],$$

которое утверждает в самом общем виде, что структура знаний $K[S]$ под влиянием информации ΔI меняется на новую модифи-

цированную структуру $K[S + \Delta S]$, где ΔS отображает эффект модификации.

Брукс акцентирует своё внимание на следующем свойстве своего уравнения:

«Фундаментальное уравнение информационной науки также подчёркивает, что определённая таким образом *информация* не является идентичной с философскими *данными-ощущениями*. Конечно, информация может зависеть от чувственных наблюдений, но данные-ощущения, полученные таким образом, должны быть субъективно интерпретированы структурой знаний, чтобы стать информацией».

«Уравнение также имеет своей целью вывести факт, что рост знаний не просто увеличивается. Поглощение информации структурой знаний может повлечь за собой не просто добавление, а даже такое уточнение структуры, как изменение отношений, связующих одно или два уже признанных понятий. В науках прирост информации иногда привёл к серьёзной перестройке структуры» [1, с. 131].

Определение информации по Бруксу будем называть «ментальной информацией». При употреблении этого словосочетания предполагается, что используется система терминов и фундаментальное уравнение, предложенные Бруксом.

2.4. Хьорланд: кадры информационной науки и её проблемы. Б. Хьорланд является одним из тех учёных в области информационной науки, которые предпочитают не отделить её от одной из областей её применения — библиотечного дела, и поэтому называют её библиотечно-информационной наукой. В своей работе учёный говорит о существовании альтернативного названия — информационной науки, которое, на его взгляд, является эквивалентным первому. Хьорланд отдаёт предпочтение первому названию.

Итак, согласно Хьорланду, «библиотечно-информационная наука — это область профессиональных интересов, оперирующая следующими видами знаний:

- 1) культурологические знания;
- 2) знания о различных областях общественной жизни (например, музыкальные искусства, юриспруденция, медицина);
- 3) знания философии и социологии науки;
- 4) экономические и административные знания;

- 5) знания о специфических информационных ресурсах таких, как базы данных, Интернет-ресурсы и т. д.;
- 6) знания об информационных технологиях (ИТ);
- 7) языковые и коммуникационные навыки ...

Библиотечно-информационная наука связана и со сферой производства знаний, и со сферой использования знаний. И лишь небольшое количество этих знаний производится теми исследователями, которые считают себя специалистами в этой области знания» [8, с. 502–503].

С точки зрения учёного «обсуждение стратегий для развития профессионалов библиотечно-информационной науки должно включать в себя описание отношений между профессионалами в библиотечно-информационной науке и другими научными и профессиональными группами, включая анализ их областей компетентности. Существует огромное количество различных дисциплин, имеющих отношение к знаниям и информации, к информационным технологиям, к распространению информации. Вопрос специализации обнаруживает дилемму для библиотечно-информационной науки/ информационной науки: большие библиотеки и информационные системы могут позволить себе огромный спектр специалистов как в содержательных (предметных специалистов), так и в административных, технических, образовательных и рыночных областях (специалисты по форме). Что касается небольших библиотек (особенно небольших личных библиотек) и информационных систем, то им приходится зависеть от „универсалов“, которые могут работать в различных предметных областях и со многими типами функций» [8, с. 505].

3. Компьютерная наука

Теоретические основы компьютерной науки неразрывно связаны с вычислительной математикой, теорией алгоритмов, теорией вероятности и математической статистикой. Перечисленные научные дисциплины составляют тот фундамент здания компьютерной науки, который используется при решении её теоретических и прикладных задач.

Значительное число основополагающих работ, посвящённых теоретическим началам компьютерной науки, относятся к первой половине XX века. Среди учёных, которые глубоко исследовали теоретические вопросы, связанные с алгоритмами и их возможностями, были Клини, Чёрч, Эрбран, Тьюринг и Пост.

Неформальное понятие алгоритма для решения некоторого класса задач подразумевает некоторый набор правил, с помощью которых решение любой указанной задачи этого класса может быть найдено в случае выполнения этого набора правил. Так подходит к определению алгоритма Г. Эббихаус в своей статье «Машины Тьюринга и вычислимые функции I. Уточнение понятия алгоритма» [9, с. 9–11].

Вплоть до 30-х годов прошлого столетия понятие алгоритма оставалось интуитивно понятным, имевшим скорее методологическое описание, нежели математическое определение. В истории науки известно много ярких примеров алгоритмов. Среди них алгоритм Евклида нахождения наибольшего общего делителя двух натуральных чисел или двух целочисленных множителей, алгоритм Гаусса решения системы линейных уравнений, алгоритм разложения многочлена одной переменной на неприводимые множители. Перечисленные алгоритмы позволяли решать задачи путём указания и выполнения конкретных разрешающих процедур. Для решения подобных задач было достаточно интуитивного понимания алгоритма.

Однако в начале XX в. были сформулированы ряд алгоритмических проблем, решение которых потребовало разработки и применения новых логических средств. Это связано с тем, что доказательство существования и разработку разрешающего алгоритма можно осуществить и с помощью интуитивного понимания алгоритма. Если же требуется доказать, что для решения задачи не существует алгоритма, то в этом случае необходимо точное определение того, что такое алгоритм.

Определение алгоритма было предложено в первой половине XX века в двух формах: на основе понятия рекурсивной функции и на основе описания процесса, осуществляемого на абстрактной машине. Был сформулирован тезис («тезис Тьюринга»), утверждающий, что любой алгоритм может быть реализован на соответствующей машине Тьюринга. Оба подхода, а также другие подходы (Маркова и Поста) привели к одному и тому же классу алгоритмически вычислимых функций и подтвердили целесообразность использования тезиса Тьюринга для решения алгоритмических проблем.

В настоящее время теория алгоритмов является краеугольным камнем теоретического фундамента компьютерной науки. Применение теории алгоритмов осуществляется как в использовании самих результатов, так и в концептуализации новых

понятий и в уточнении старых. С её помощью были уточнены такие понятия как доказуемость, эффективность, разрешимость, перечислимость и другие.

3.1. Универсальные вычислительные машины. Развитие компьютерной науки неразрывно связано с созданием универсальных вычислительных машин или компьютеров. ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) был первым в истории человечества компьютером, который в момент его создания называли также математическим роботом². Вычислительную машину фон Нейман определял как «устройство, которое может выполнять команды для вычислений значительной сложности». Центральным моментом в работе Фона Неймана была формулировка требований к структуре вычислительной машины [10]:

— так как машина в первую очередь является средством вычислений, она чаще всего будет выполнять элементарные арифметические операции; следовательно, в её составе должны быть специализированные органы для выполнения таких операций; эти органы образуют *центральную арифметическую часть* машины;

— логическое управление машиной, т.е. управление последовательностью её операций, должно осуществляться центральным управляющим органом или *центральной управляющей частью*; — машина, выполняющая длительную и сложную последовательность операций, должна обладать ещё одним важным органом — *внутренней памятью* достаточно большой ёмкости, которая могла бы хранить не только исходные данные, таблицы, промежуточные результаты вычислений и т.д., но и команды, определяющие тип выполняемых операций ...;

— машина должна иметь органы хранения информации *во внешней записывающей среде*, представляющей собой перфокарты, телетайпную ленту, магнитную проволоку и т.д.;

— эта информация должна передаваться в центральные арифметическую и управляющую части и в память, а также в обратном направлении с помощью отдельных органов, образующих входную и выходную части машины (предпочтительно,

² Словосочетание «математический робот» использовалось в первом пресс-релизе о компьютере ENIAC от 16 февраля 1946 года (см. <http://www.americanhistory.si.edu/csr/comphist/pr1.pdf>). Разработка этого компьютера была начата в июле 1943 года и завершена осенью 1945 года.

чтобы передача осуществлялась через внутреннюю память, а не через центральную арифметическую часть).

Фон Нейман фактически описал структурную схему аналитической машины Бэббиджа, состоящей (в современной терминологии) из арифметического устройства (АУ), устройства управления (УУ), оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), внешнего запоминающего устройства (ВЗУ), устройств для ввода и вывода информации (УВВ). Однако в архитектуре фон Неймана были существенные отличия от схемы аналитической машины Бэббиджа. В частности, фон Нейман рекомендовал использовать в устройстве не механическую, а электронную элементную базу и не десятичную, а двоичную систему исчисления. Бэббидж искал аналогии между блоками вычислительной машины и *производственными* структурными единицами («мельница», «склад») в то время, как фон Нейман находил эти аналогии в *живом организме* (точнее, в нейронных сетях) [10].

3.2. Машины Тьюринга. В процитированной выше работе [10] сравнивается концепция «фон-неймановской архитектуры» со свойствами «универсальной машины Тьюринга» (Universal Turing Machine, UTM). Английский математик А. Тьюринг предложил использовать UTM для исследования «проблемы разрешимости» (Entscheidungsproblem), которую сформулировал в 1900 г. немецкий математик Д. Гильберт.

Суть её состоит в следующем: «Существует ли некоторая общая процедура для определения того, доказуема ли данная формула U функционального исчисления K ?» [11]. В формулировке Тьюринга при доказательстве им неразрешимости этой проблемы она имела вид: «Доказать, что не может существовать такой машины, которая содержала бы какие-либо из формул U и, в конечном счёте, сказала бы, доказуема ли U » [12]. В 1936 г. Тьюринг доказал, что эта проблема неразрешима, и опубликовал полученные результаты в статье «О вычислимых числах применительно к проблеме разрешимости».

Важно то, что для доказательств этого положения Тьюринг использовал предложенную им гипотетическую машину UTM. Эббихаус в своей статье приводит краткое описание UTM: «Машина Тьюринга T в главных чертах состоит из *операционного исполнителя устройства*, которое может находиться в одном из дискретных состояний q_0, \dots, q_s , принадлежащих некоторой конечной совокупности, комбинирующей *читающей*

и пишущей головки, счётной ленты и лентопротяжного механизма. При этом q_0 называется начальным состоянием Т. Ячейки ленты пронумерованы, начиная с крайней левой, числами $0, 1, 2, \dots$. Читающая и одновременно пишущая головка находится в каждый данный момент времени над некоторой ячейкой ленты — текущей рабочей ячейкой. С помощью лентопроляжного механизма одна из ячеек, соседняя с рабочей ячейкой, может быть помещена под читающей и пишущей головкой; в таком случае мы будем говорить, что *рабочая ячейка сдвинулась на одну ячейку вправо или влево*.

Читающая и пишущая головка может читать символы алфавита $A = \{a_1, \dots, a_t\}$ и символ a_0 (у Тьюринга этот символ означает «пусто» — *примечание авторов статьи*), стирать их и печатать; A называется *рабочим алфавитом* Т. Наглядное представление о машине Тьюринга даёт рис. 2. Лампа МО загорается при выполнении указания об остановке, лампа ПЛ зажигается, когда остановка вызвана тем, что начальная ячейка ленты находится под считывающей головкой, а требуемое действие состоит в сдвиге рабочей ячейки влево» [9, с. 25].

В своей работе Тьюринг установил тождество между алгоритмом и гипотетической универсальной вычислительной машиной. Важно и то, что он «...построил модель вычислений, в которой каждый алгоритм разбивался на последовательность простых, элементарных шагов. Он показал, что его машина «...за данный большой, но конечный промежуток времени способна справиться

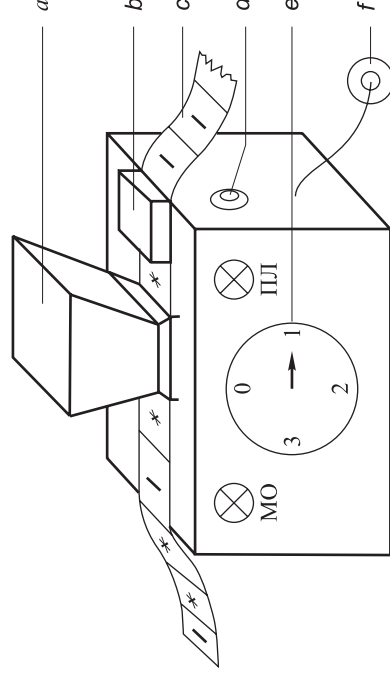


Рис. 2. Гипотетическое представление машины Тьюринга: a — читающая и пишущая головка, b — лентопротяжный механизм, c — лента, d — пусковая кнопка, e — указатель состояния, f — источник энергии

с любым вычислением, которое сможет выполнить всякая сколь угодно мощная современная вычислительная машина» [10]. Далее в цитируемой работе сравнивается концепция «фон-неймановской архитектуры» со свойствами УТМ [10]:

— как следует из сказанного выше, Тьюринг фактически впервые выдвинул концепцию вычислительной машины с хранимыми в памяти командами (программой);

— поскольку операции УТМ на каждом такте зависят, в частности, от результата последнего действия, можно говорить, что машина выполняет команду условного перехода;

— Тьюринг показал, что результатом работы машины может быть группа символов, которые, будучи введены в другую УТМ, заставят её действовать так же, как первую; иными словами, машина может «генерировать» или видоизменить программу, и Тьюринг чётко понимал, что это её свойство должно быть перенесено на реальную ЭВМ ...;

— ...любую универсальную вычислительную машину можно запрограммировать так, что она будет моделировать работу некой специализированной машины (создателя ENIAC делали то же самое, когда настраивали свою универсальную машину на решение конкретной задачи).

В описании УТМ содержится существенное ограничение: все вычисления выполняются на одномерной ленте, то есть допускается только линейная конкатенация символов алфавита УТМ при построении символьных выражений. При этом следует замечание о том, что в математике используются двумерные символьные выражения, которые всегда могут быть преобразованы в одномерные, что позволяет обрабатывать их с помощью УТМ. Говоря о размещении символов алфавита УТМ в ячейках одномерной ленты, Тьюринг отмечает, что в одной ячейке может располагаться линейная последовательность символов, трактуемая как единый сложный символ, и проводит аналогию между сложными символами и словами европейский языков. Другими словами, при обработке с помощью УТМ эти слова предлагается трактовать как сложные символы, размещаемые в ячейках одномерной ленты [12].

3.3. Статистическая информация. Параллельно с развитием понятия алгоритма и созданием универсальной вычислительной машины формировалось ещё одно направление компьютерной науки, связанное с именами Н. Винера и К. Шеннона.

В построении теоретического фундамента этого направления компьютерной науки они использовали статистические и вероятностные методы.

Н. Винер в гл. 3 своей книги «Кибернетика» об информатике в контексте статистической науки и предметной области этого направления говорит следующим образом:

«Существует широкий класс явлений, в которых объектом наблюдения служит какая-либо числовая величина или последовательность числовых величин, распределённые во времени. Температура, непрерывно записываемая самопишущим термометром; курс акций на бирже в конце каждого дня; сводка метеорологических данных, ежедневно публикуемая бюро погоды — всё это временные ряды, непрерывные или дискретные, одномерные или многомерные. Эти временные ряды меняются сравнительно медленно, и их вполне можно обрабатывать посредством вычислений вручную или при помощи обыкновенных вычислительных приборов, таких, как счётные линейки и арифмометры. Их изучение относится к обычным разделам статистической науки» [13, с. 119].

О статистическом характере исследуемых объектов и явлений Винер пишет далее:

«Все эти временные ряды и все устройства, работающие с ними, будь то в вычислительном бюро или в телефонной схеме, связаны с записью, хранением, передачей и использованием информации. Что же представляет собой эта информация и как она измеряется? Одной из простейших, наиболее элементарных форм информации является запись выбора между двумя равновероятными, простыми альтернативами, например, между гербом и решёткой при бросании монеты. Мы будем называть *решением* однократный выбор такого рода. Чтобы оценить теперь количество информации, получаемое при совершенно точном измерении величины, которая заключается между известными пределами A и B и может находиться с равномерной априорной вероятностью где угодно в этом интервале, положим $A = 0$, $B = 1$ и представим нашу величину в двоичной системе бесконечной двоичной дробью $0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$, где каждое $a_1 a_2, \dots$ имеет значение 0 или 1...» [13, с. 120].

Для Винера центральным понятием было понятие информации как термина статистической науки. В статистическом направлении компьютерной науки слово «информация» включено в единую систему терминов со словами «шум», «помеха», «ве-

роятность», «энтропия» и т.д., но не со словом «знания», как это сделано в информационной науке. Поэтому далее информацию статистического направления компьютерной науки будем называть *статистической информацией*, которая понимается не в том смысле, который вкладывается в словосочетания «языковая информация» по Фаррадейну, «знаковая информация» по Ингверсену и «ментальная информация» по Бруксу в разделе 2 данной работы. Так, Шеннон измеряет статистическую информацию в битах, которые передаются по каналу связи [14], что для перечисленных понятий информационной науки не применимо.

В качестве меры статистической информации в совокупности сообщений Шеннон предлагает использовать логарифмическую меру:

«Если ряд сообщений из множества сообщений конечен, то этот ряд или его произвольную монотонную функцию можно рассматривать как меру информации, произведённой на тот момент, когда выбирается одно сообщение из множества сообщений, причём все выборы равнозначны. Как заметил Хартли, наиболее естественным выбором является логарифмическая функция. Хотя это определение должно быть подвергнуто значительному обобщению, когда мы рассматриваем влияние статистики сообщения и когда мы располагаем постоянным диапазоном сообщений, в любом случае мы будем использовать, по сути, логарифмическую меру» [14].

«Выбор основания логарифма соответствует выбору единицы измерения информации. Если используется основание 2, то результирующие единицы можно назвать двоичными числами или более кратко битами, термином, который предложил Дж. У. Теки. Устройство с двумя устойчивыми состояниями такое, как реле или триггер, может хранить один бит информации. N таких устройств может хранить n бит, суммарное число возможных состояний равно 2^n , а $\log_2 2^n = n$ » [14].

Шеннон подчёркивает, что, говоря о статистической информации, её передаче и соответствующих системах передачи, он имеет в виду именно физическую модель передачи сообщений, и содержательная сторона передаваемого сообщения при этом не учитывается. Иначе говоря, по смыслу «информация» статистической науки принципиально отличается от «информации» информационной науки, и наблюдается только лексическое совпадение в виде одинаковых последовательностей литер.

В заключение раздела отметим, что теоретические исследования Шеннона и Винера в области статистического управления компьютерной науки были необходимы для практических приложений. Например, Шеннон исследовал природу передаваемой по каналу связи статистической информации и вопросы оптимизации этого процесса. Теория связи была востребована во время второй мировой войны, а затем получила развитие в многочисленных приложениях в мирное время. Винер, в свою очередь, считал, что методы обработки статистической информации могут коренным образом изменить взгляд на построение и использование новых вычислительных машин. Он считал, что «при применении этих машин становится всё более очевидным, что они требуют специальных математических методов, совершенно отличных от тех, к которым прибегали в ручных расчётах или на малых машинах» [13, с. 206].

Дальнейшее развитие методов статистической науки, востребованное в кибернетике, информатике и теории автоматического управления, нашло своё отражение в работах Р.Е. Калмана, В.С. Пугачева и ряда других исследователей [15–18].

4. Информационно-компьютерная наука

Сегодня специалисты из большинства сфер человеческой деятельности согласны с тем, что информатика как информационно-компьютерная наука обладает полезными для них возможностями. Информационно-компьютерные технологии всё более глубоко проникают в экономику, науку, образование, медицину и другие сферы деятельности, включая сферу национальной безопасности, что в настоящее время становится актуальной и общепризнанной проблемой.

В частности, члены Консультативного совета при Президенте США по информационным технологиям в июне 2005 года посвятили аналитический доклад новой науке «computational science», одной из трёх составляющих которой является информационно-компьютерная наука, которая в этом докладе определяется следующим образом:

«...компьютерно-информационная наука разрабатывает и оптимизирует современные аппаратные, программные и сетевые средства, а также компоненты управления данными, которые необходимы для решения вычислительно сложных проблем» [19, с. 10].

Термин «информационно-компьютерная наука», о котором говорится в цитируемом докладе, одним из первых использовал американский учёный С. Горн в 1963 году, с той разницей, что тогда термин употреблялся во множественном числе. Единственное число в названии науки использовалось учёным, начиная с 1983 года [20]. Уже в 1963 году тогда ещё молодая дисциплина позиционировалась С. Горном как фундаментальная область знания, что нашло отражение в самом названии его работы [21].

В течение двадцати лет им была опубликована серия статей о предметной области и методологии информационно-компьютерной науки [20–24]. В качестве смежных областей знания С. Горн называет библиотековедение, теорию информационного поиска, информационную науку, кибернетику, когнитивную психологию, искусственный интеллект, семиотику, лингвистику и математику. Среди сфер применения этой науки он выделяет разработку компьютеров, менеджмент и сферу образования [20, с. 121].

В 1963 году Горн предпринял попытку перечислить вопросы, изучаемые информационно-компьютерной наукой:

«Примерами основных вопросов исследования в этой области могут быть системы программирования, проектирование компьютерных систем, искусственный интеллект, информационный поиск и т.д. Вероятно, истинная информационная теория Шеннона определённо принадлежит к этой области знания, но помимо неё существует ещё теория информации искусственных языков и её обработки, которую также необходимо включить в предметную область этой науки. Одним из центральных вопросов этой новой дисциплины, скорее всего, станет синтез и анализ искусственных языков и их процессоров» [21, с. 150].

В отличие от авторов аналитического доклада, Горн в явном виде включает в перечень направлений, изучаемых информационно-компьютерной наукой, искусственный интеллект, информационный поиск, синтез и анализ искусственных языков. После перечисления этих вопросов, информационно-компьютерная наука далее рассматривается им уже как учебная дисциплина и говорится о необходимости описать способы различения новой области знания от соседних с ней областей в учебном процессе. К примеру, каким образом абитуриент может узнать, относится ли сфера его интересов именно к этой новой области знания, а не к одной из уже устоявшихся дисциплин? Какое ему необходимо образование для того, что бы углубиться в эту новую область?

И в чём результат его обучения существенным образом будет отличаться от того образования, которое потребовалось бы ему в другой области?

В 60-х годах прошлого века ощущалась потребность в оценке перспектив развития этой новой дисциплины, в её позиционировании среди существовавших уже тогда областей знания и учебных дисциплин. Горн последовательно рассматривает эти вопросы, отталкиваясь в своих рассуждениях от профессиональных интересов учёных в этой области ещё на стадии получения ими образования:

«Информационно-компьютерная наука рассматривает прагматические аспекты использования символов их пользователями и интерпретаторами в качестве ещё одного центрального вопроса таким же образом, как эти аспекты должны исследоваться специалистами в области лингвистики, психологии, философии и инженерных наук.

Таким образом, студент, изучающий численный анализ, в процессе разработки или анализа какого-либо алгоритма мыслит себя как математик, если его единственный интерес заключается в доказательстве существования алгоритма или определения его точности. Но он является специалистом в области информационно-компьютерной науки, если он рассматривает этот алгоритм прагматически, например, с точки зрения его реализации (обработка процессором) и интересуется эффективностью его работы, временными затратами, распределением памяти и т.д.

Аналогично, студент, изучающий процедуру адаптивного управления, описывающую поведение животного в некоторой ситуации, позиционирует себя как психолог, если его главной задачей является выяснение того, обладает ли он хорошей моделью поведения этого животного. Если его интересуется проблема искусственного интеллекта, как одного из направлений информационно-компьютерной науки, то он интересуется применимостью этой процедуры независимо от того, является ли она моделью поведения животного или не является.

Студент, занимающийся порождающей грамматикой, мыслит себя как лингвист, если его больше всего интересует, действительно ли естественный язык работает так, а не иначе. Однако он думает как учёный в области информационно-компьютерной науки, если его занимает вопрос, каким образом можно использовать эту грамматику в информационной системе. Лингвист может рассматривать механизм стековой памяти, но с глуби-

ной не более семи из-за ограниченных возможностей локальной памяти человека. Для решения информационно-компьютерных задач такой глубины явно недостаточно» [21, с. 154].

Рассмотрев в статье 1963 года эти примеры, Горн предлагает перечень тех дисциплин, которые должны преподаваться студентам, изучающим информационно-компьютерной науку, включая математику, физику, философию, лингвистику, психологию, вычислительную технику и компьютерное программирование.

Предложенный подход к изучению информационно-компьютерной науки уже тогда начал реализовываться в Пенсильванском университете. Через двадцать лет, когда уже накопился большой опыт её преподавания, Горн пишет, что его понимание концепции информатики как 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 [20, с. 137].

Следует отметить, что процитированная статья начинается со следующей фразы:

«Позвольте мне, прежде всего, выбрать более короткое название, чем *информационно-компьютерная наука*. Я выбираю термин «информатика», созвучный французскому *Informaŕique* и немецкому *Informatik*. Он несёт в себе идею информатики, а оканчивается так же, как и *математика*, подразумеваемая формализованную теорию. Плохо то, что при использовании слова «информатика» теряется компьютерная составляющая в названии, и кроме того, оно не вызывает ассоциаций с какой-либо экспериментальной основой» [20, с. 121].

Следовательно, Горн, используя термин «информатика», подразумевает под ним именно информационно-компьютерную науку. Учёный обращается к истокам этой дисциплины, чтобы дать чёткое определение информатике как информационно-компьютерной науке. Это важный этап в её истории поскольку как уже было сказано выше, междисциплинарное происхождение информационно-компьютерной науки долгое время существенно затрудняло определение её предметной области и теоретических оснований.

«Всё, что я до сих пор говорил о вычислениях, является ориентированным на практическую деятельность и связано с компьютером. Но теория вычислений уже сформировалась и существовала к тому времени, когда появились цифровые компью-

теры... Специалисты в области символической логики уже исследовали логические пределы вычислений; была описана универсальная машина Тьюринга и доказана неразрешимость проблемы остановки; Гёдель продемонстрировал пределы формализма при помощи своего теорема о неразрешимости; Чёрч, Клини и Карри проанализировали вычисления в теории рекурсивных функций и комбинаторной логики; Туэ и Пост, а в более позднее время Марков, рассмотрели вычисления с синтаксической точки зрения... Поэтому, когда появились компьютеры, обсуждение лингвистики естественных языков Н. Хомским происходило в рамках вычислений, и был представлен новый вычислительный взгляд психоллингвистики... В результате этих новых разработок появились лингвистические описания процессов программирования, математическая теория автоматов и формальные языки. Эти результаты, в свою очередь, повлияли на разработки языков программирования и программируемых вычислительных машин... Теперь под информатикой мы понимаем нечто, связанное с синтезом и анализом *символьных выражений*, а также синтез и анализ *процессоров*, которые интерпретируют, транслируют и обрабатывают такие выражения. Если говорить более прозаично, то информатика занимается изучением, проектированием и использованием структур данных и их обработкой...» [20, с. 131].

Главный вывод Горна о составе и статусе обсуждаемой области знания, которым он завершает статью, состоит в следующем: «...нам не следует отделять компьютерную науку от информатической науки, а следует пытаться отстаивать единую область знания — информатику. Любая попытка поощрить такое разделение ... повлечёт за собой отделение практической деятельности от знаний, как это произошло с математикой Пифагора, риторикой софистов, метафизикой и органомом Аристотеля, грамматикой стоиков, логикой и грамматикой логических позитивистов. Такое разделение будет причиной прекращение деятельности кипения, которое поддерживается сплавом знаний и практической деятельности» [20, с. 139–140].

5. Заключение

Вопрос соотношения предметных областей информационной и компьютерной наук, проблема оснований информационно-компьютерной науки по-прежнему сохраняют свою актуальность: в настоящее время изучаются возможные подходы к их решению.

Однако многолетняя история исследований этого вопроса соотношения предметных областей позволяет уже сегодня сделать следующие выводы.

Во-первых, процессы экспликации знаний, понимания и осознания в настоящее время остаются невыясненными, но в информатической науке эти процессы исследуются на двух когнитивных границах, то есть, когнитивные процессы, которые генерируют языковую информацию, и когнитивные процессы, происходящие при получении языковой информации, а также сопоставляются знания, ментальная информация Брукса, знаковая информация Ингверсена и языковая информация Фаррадейна, их отношения в социальных коммуникациях как центральные понятия и процессы этой науки [1, 2, 7].

Во-вторых, в компьютерной науке в качестве базовых понятий используются «символы абстрактного алфавита», в явном виде несоотнесённые со знаниями и данными информационной науки, ментальной информацией Брукса знаковой информацией Ингверсена или языковой информацией Фаррадейна. Например, в классической работе Тьюринга слова «знания», «данные» и «информация» просто не используются и рассматриваются только линейные символичные выражения. Однако в этой работе отмечается, что в одной ячейке может располагаться линейная последовательность символов, трактуемая как единый сложный символ, и проводится аналогия между сложными символами и словами европейский языков [12]. Иначе говоря, имеется непустое пересечение множества символьных выражений, обрабатываемых с помощью УТМ, и множества слов естественных языков, являющихся формами знаков и используемых в социокультурных коммуникациях.

В-третьих, информация статистического направления компьютерной науки или статистическая информация понимается не в том смысле, который вкладывается в словосочетания «ментальная информация», «знаковая информация» и «языковая информация» в разделе 2 данной работы. Шеннон измеряет статистическую информацию в битах [14], что для перечисленных понятий информационной науки не применимо.

В-четвёртых, понимание предметной области информационно-компьютерной науки, под которой подразумевается формализованная теория, заключается в том, что эта область знания не является ветвью математики, так как она должна соотноситься

себя с прагматическими вопросами, от которых математика не должна зависеть [20].

Заключительная фраза статьи С. Горна говорит о том, что не следует отделять компьютерную науку от информационной науки, а следует пытаться отстаивать единую область знания. В настоящее время остаётся открытым главный вопрос: «На каких теоретических основаниях следует предпринимать эти попытки?»

Список литературы

1. *Brookes B. C.* The foundations of information science. Part I. Philosophical aspects // *Journal of Information Science*. 1980. № 2. P. 125–133.
2. *Ingwersen P.* Information and information science In: *Encyclopaedia of Library and Information Science*. V. 56. sup. 19. — N. Y.: Marcel Dekker Inc., 1992. — P. 137–174.
3. *Ночака И., Такеучи Х.* Компания — создатель знания. — М.: Олимп-Бизнес, 2003. — 384 с.
4. *Коллин К. К.* Фундаментальные основы информатики: социальная информатика. — М.: Академический проект, 2000. — 350 с.
5. *Арский Ю. М., Гиляревский Р. С., Туров И. С., Чёрный А. И.* Информатика: информационные структуры, системы и процессы в науке и обществе. — М.: ВИНТИ, 1996. — 489 с.
6. *Гиляревский Р. С.* Информатика как наука об информации // *Настоящий сборник*. С. 59.
7. *Farradane J.* Knowledge, information, and information science // *Journal of Information Science*. 1980. № 2. P. 75–80.
8. *Hjorland B.* Library and information science: practice, theory, and philosophical basis // *Information Processing and Management*. 2000. № 36. P. 501–531.
9. *Эббихаус Г.-Д.* Машины Тьюринга и вычисляемые функции I. Уточнение понятия алгоритма. В кн.: *Машины Тьюринга и рекурсивные функции*. — М.: Мир, 1972.
10. *Полунов Ю.* Автора!!! // *PC Week/RE*. 2006. № 20–21.
11. *Hilbert D., Ackermann W.* Grundzüge der Theoretischen Logik. — Berlin, 1931.
12. *Turing A. M.* On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem // 1936. November. № 12. — (<http://www.abelard.org/turpap2/trp2-ie.asp>).
13. *Винер Н.* Кибернетика, или управление и связь в животном мире. — М.: Наука, 1983.

14. *Shannon C. E.* A Mathematical Theory of Communication // *The Bell System Technical Journal*. 1948. V. 27. P. 379–423, 623–656.
15. *Калман Р. Е.* Об общей теории систем управления В кн.: *Труды ИФАК. Т. 2.* — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — С. 521–547.
16. *Лукачёв В. С.* Основы автоматического управления. — М.: Наука, 1974.
17. *Лукачёв В. С.* Теория вероятности и математическая статистика. — М.: Наука, 2002.
18. *Лукачёв В. С., Силицын И. Н.* Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация. — М.: Наука, 1990.
19. *Computational Science: Ensuring America's Competitiveness.* Report to the President. — Arlington, VA: National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2005.
20. *Gorn S.* Informatics (computer and information science): its ideology, methodology, and sociology. In: *The studies of information: Interdisciplinary messages* / Ed. by F. Machlup, U. Mansfield. — N. Y.: Wiley, 1983. — P. 121–140.
21. *Gorn S.* The computer and information sciences: a new basic discipline // *SIAM Review*. 1963. V. 5, № 2. P. 150–155.
22. *Gorn S.* The individual and political life of information systems. In: *Proc. Symposium on Education for information science*. — N. Y.: Spartan Books, 1965. — P. 33–40.
23. *Gorn S.* Computer and information sciences and the community of disciplines // *Behavioral science*. 1967. V. 12, № 6. P. 433–452.
24. *Gorn S.* The identification of the computer and information sciences: their fundamental semiotic concepts and relationships // *Foundations of language*. 1968. V. 4, № 4. P. 339–372.